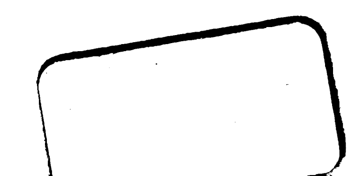
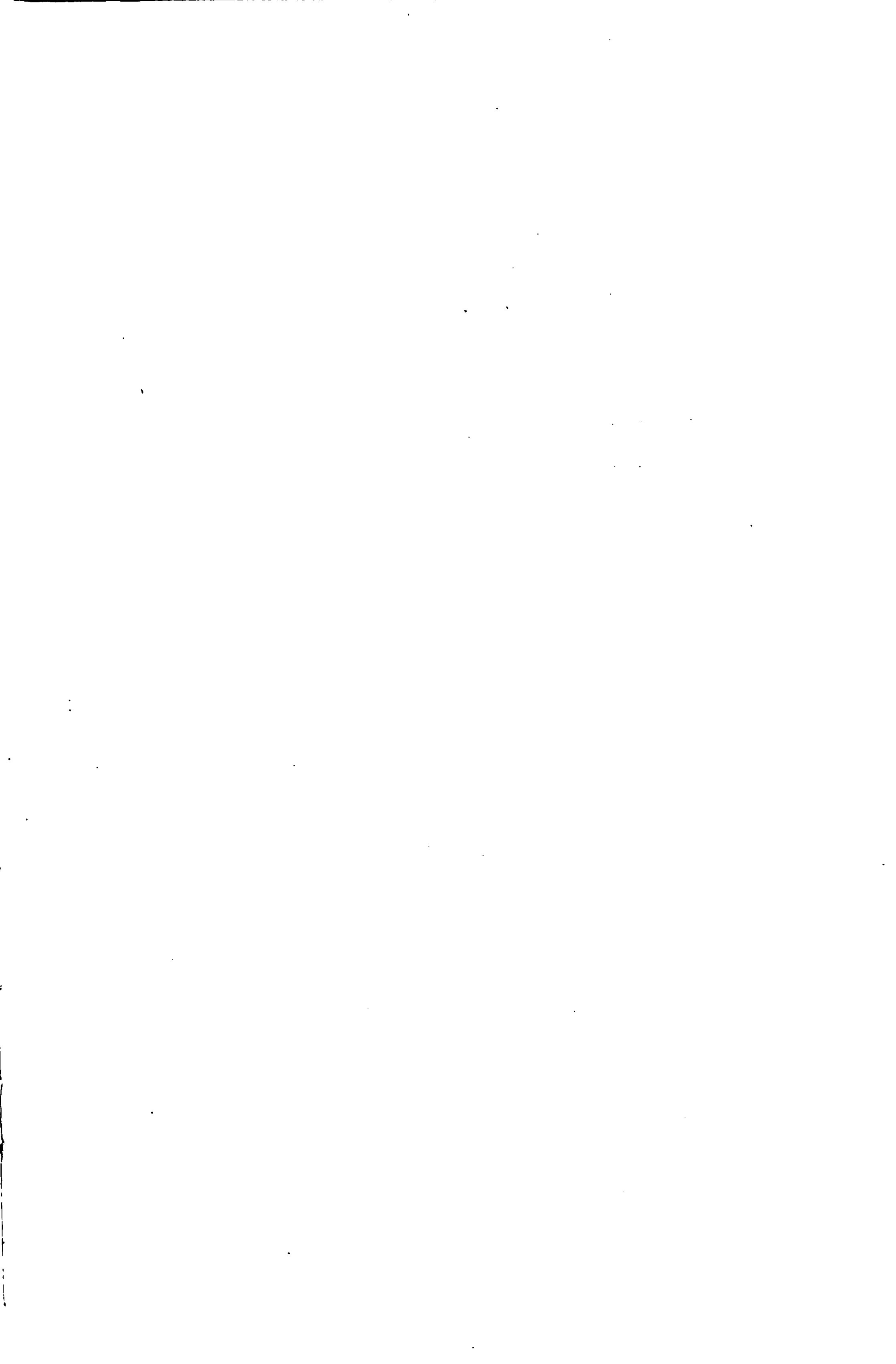
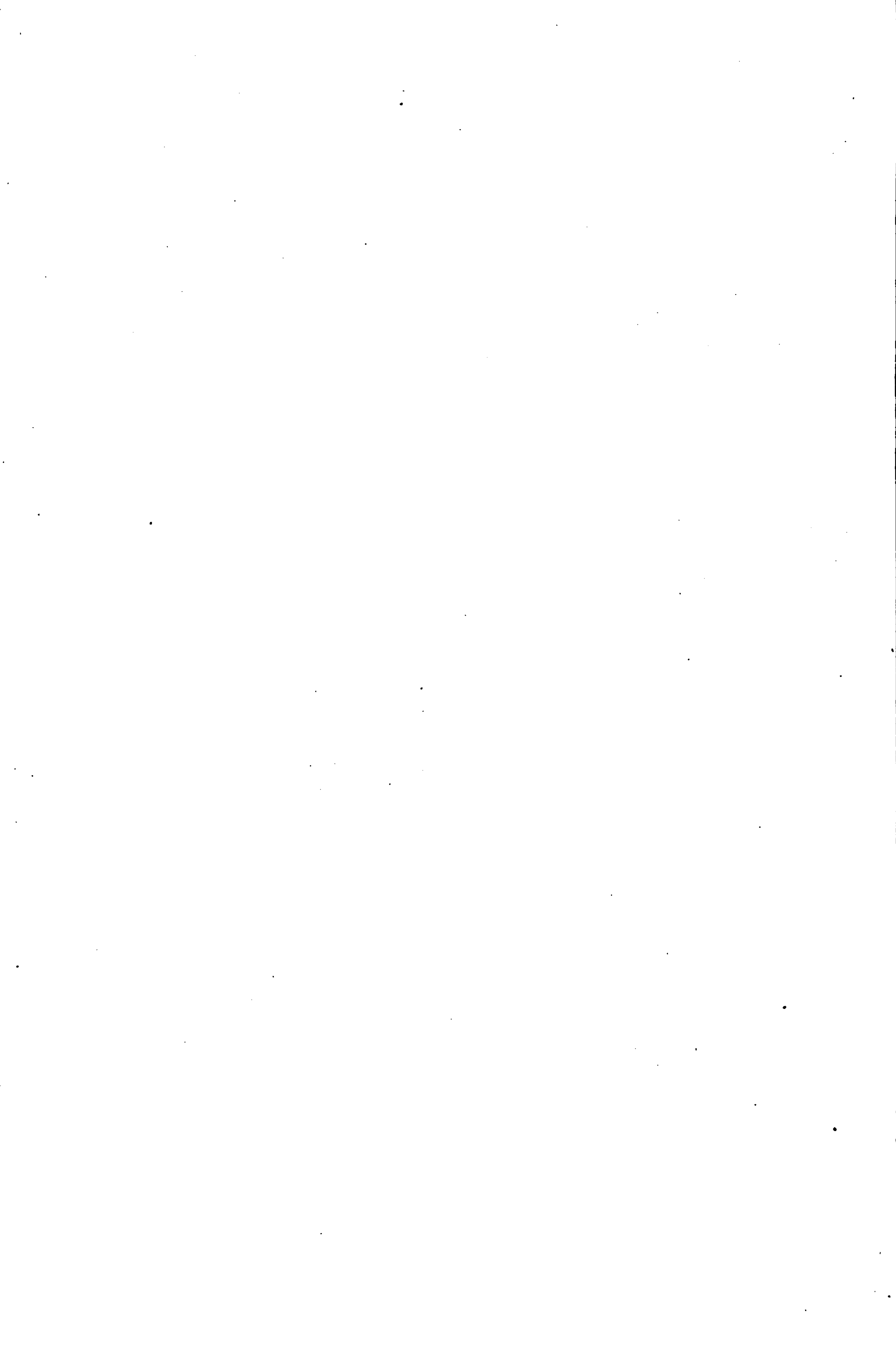

HARVARD
UNIVERSITY
LIBRARY


SIGILLVM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
CHRISTO ET ECCLESIAE
VE RI TAS







Die

Flüssigkeits-Schraube.

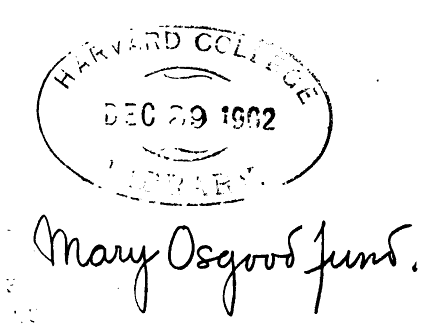
Winddruck,
Luftschiffs- und Schiffsschraube, Kanalschiffs-Luftschraube,
Niederdruck-Windrad,
Graf Zeppelins Luftschiff.

Von

Paul Pacher.

Verlag von A. Amonesta.
Wien.

1900.



Druck von Gebrüder Faber in Salzburg.

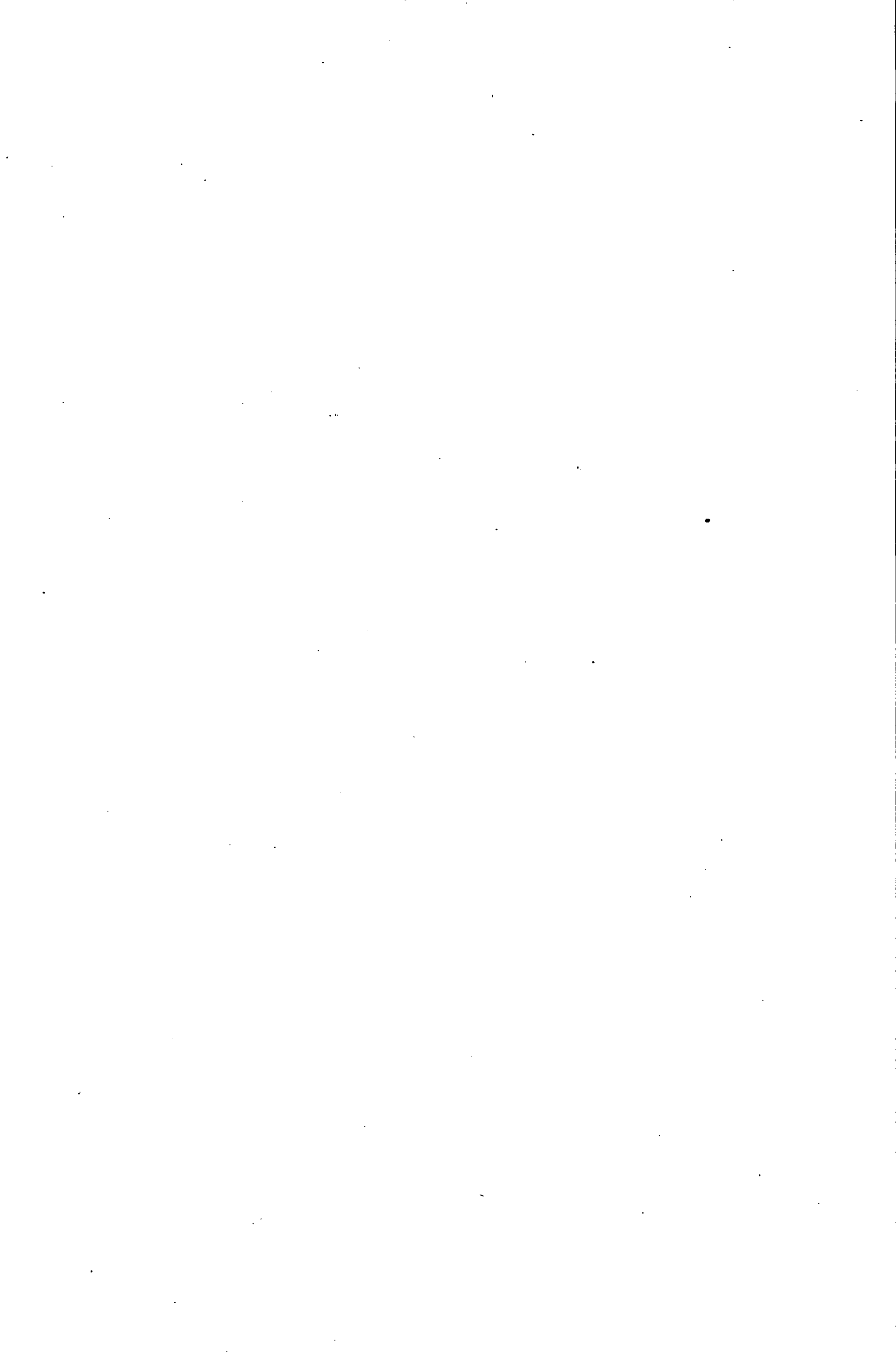
In dankbarer Erinnerung seien diese Blätter dem Andenken meiner verehrten Lehrer am ehemaligen Stuttgarter Politechnikum,

Rektor **Dr. Bernhard v. Gugler** und
Professor **Christian Müller,**

gewidmet.

Der hingebenden Ausübung des Lehramtes der beiden Männer habe ich es zu verdanken, daß während eines halben Jahrhunderts vorwiegend nicht-technischen Berufslebens die Beschäftigung mit ernster technischer Wissenschaft mir stets die erfrischendste geistige Erholung gewährt hat. — O, war es doch eine herrliche Zeit nach den völkerbelebenden Gewittern des Jahres 1848, in der die Welt für Gesinnungslumpe keinen Raum hatte!





Vorwort.

Ob und inwieweit, was dieses Heftchen bringt, neu ist, konnte ich nicht ermitteln. Ich kann nicht mehr für mich in Anspruch nehmen, als daß die im Nachfolgenden beschriebene und begründete Form des Schraubenflügels gegenüber dem, was ich teils in wirklicher Ausführung, teils in bildlicher Darstellung gesehen habe, einen technischen Fortschritt bedeute. Bei gleichem Aufwand an mechanischer Arbeit wird vermöge seiner Form mein Flügel höhere Leistung ergeben und gleichzeitig ohne Verminderung der Bruchsicherheit geringeres Eigengewicht zeigen.

Den Ausgangspunkt für die neue Gestaltung hat mir zunächst die Aufgabe, für das lenkbare Luftschiff eine zweckentsprechende Schraube herzustellen, geboten, dann hat es sich herausgestellt, daß kein Grund vorliegt, dieselbe Anordnung nicht auch bei der gewöhnlichen Schiffsschraube zu verwenden; aus dem unerwartet hohen Axialdruck, der sich trotz der Annahme weit niederer als der für den Winddruck bisher üblichen Einheitsziffern, langsame Fortbewegung vorausgesetzt, für die an senkrechter Axe laufende Luftschiffsschraube rechnungsmäßig ergeben hat, war zu ersehen, daß genau dieselbe Luftschraube sich auch für langsam gehende schwere Kanalschiffe, die wegen der Uferbeschädigung die Anwendung der Wasserschraube nicht ratsam erscheinen lassen, vorzüglich eignet, und endlich zeigte es sich, daß auch dort, wo nicht der die Schraube tragende Körper, sondern bei festlagernder Schraube die Luft bewegt werden soll, also bei aller Luftbeförderung ohne merkliche Pressungsveränderung, ebenfalls dieselbe aus nur zwei schmalen Flügeln bestehende Schraube das beste Resultat ergibt.

In der Entwicklung meiner Anschauung über die Natur des Winddrucks war ich bestrebt, mich von allen mehr oder weniger

an eine vierte Dimension gemahnenden Vermutungen über der atmosfärischen Luft eigene geheimen Eigenschaften und Kräfte, die von den der aviatischen Richtung zugeneigten „Flugtechnikern" stets mehr oder minder angerufen werden, vollständig fernzuhalten. Auch die unmeßbar kleinen Luftteilchen sind als Körper anzusehen, die dem Gesetze der Trägheit der Masse unterworfen sind, und sicher wird man auf kürzestem Wege zu den richtigen Schlüssen gelangen, wenn man auch die in der atmosfärischen Luft und anderen Flüssigkeiten wahrnehmbaren Vorgänge strenge nur von diesem Gesichtspunkt aus zu erklären sucht.

Als Beleg für die Richtigkeit meiner Anschauungen habe ich auch der Beurteilung anderer bekannten Vorrichtungen, bei welchen der Flüssigkeitswiderstand die Hauptrolle spielt, wie Schiffssegel, Fallschirm, Windmühle, Turbine, Schleuderrad und Geschoße den entsprechenden Raum gewidmet.

In dem vorwiegend den dermalen auf den Wellen des Bodensees überwinternden Riesenballon des Grafen Zeppelin behandelnden letzten Abschnitt wiederhole ich zunächst eine zuerst im Jahre 1896 in einem Zeitungsaufsatz veröffentlichte, später mit anderem zusammen im Sonderabdruck herausgegebene flüchtige Anregung für die Herstellung eines lenkbaren Ballons, nicht um dieselbe der weitaus überragenden Unternehmung des Grafen Zeppelin entgegenzustellen, sondern nur um an diesen ersten Vorschlag anschließend zu entwickeln, welche Richtung in der weiteren Vervollkommnung der Luftfahrzeuge eingehalten werden sollte.

Darüber, daß die Aviatiker einen Weg eingeschlagen haben, der nun und nimmer zum Ziele führen kann, besteht wohl unter ernsten Technikern kein Zweifel mehr, aber doch wäre es nicht gerechtfertigt, gleichzeitig mit der Aufdeckung der Trugschlüsse der Aviatiker auch den reichen Schatz von Erfahrungen und zutreffenden Erwägungen, welcher durch die aviatischen Bestrebungen angesammelt wurde, bei der weiteren Entwicklung der Luftschiffahrt ungenützt zu lassen. Das „plus lourd que l'air", schwerer als die Luft, war fraglos ein heller Gedanke, nur verfehlt war es, zu dessen Verwirklichung in der Bemessung des spezifischen Gewichts vom einfachen gleich auf das nahezu tausendfache über-

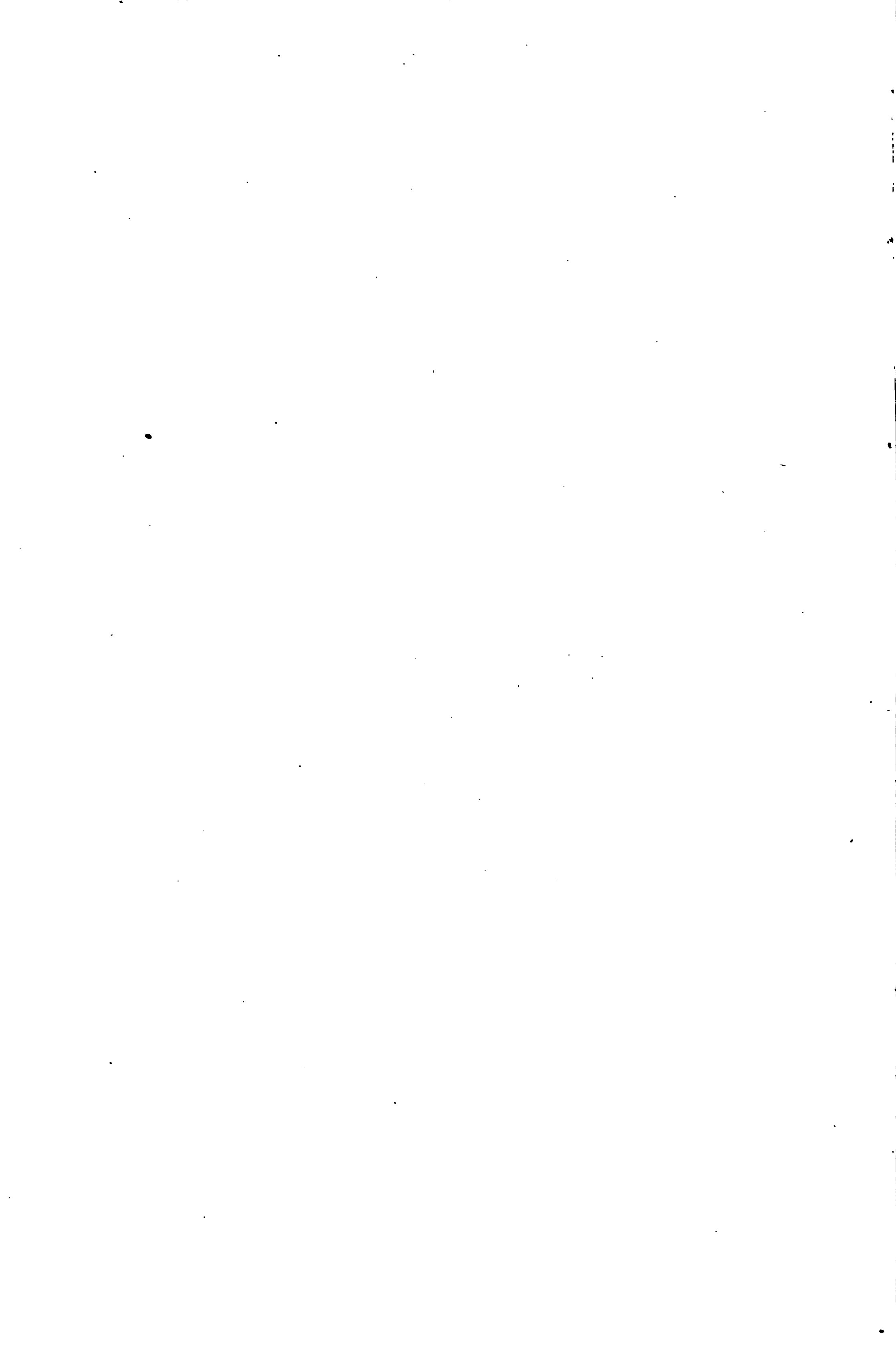
zuspringen. Graf Zeppelin hat den Weg eingeschlagen, auf welchem das richtige Mittelding sicher gefunden werden wird.

Soweit meine Kräfte reichen, war ich bemüht, weiterzubauen und habe alles verzeichnet, wie es sich aus der sinngemäßen Anwendung der von dieser oder jener Seite aufgedeckten unumstößlichen Sätze Schritt für Schritt ergab, bis endlich das Fahrzeug eine Gestalt angenommen hat, die den an das lenkbare Luftschiff zu stellenden Hauptanforderungen ziemlich entsprechen dürfte.

In der Durchführung mögen uns vielleicht die Angelsachsen dies- oder jenseits des Ozeans vermöge der überragenden Geldmittel noch zuvorkommen, in der Klarlegung des Grundgedankens jetzt wohl kaum mehr. Was deutschem Hirn entsproßen ist, soll uns auch späterhin nicht bestritten werden können. Dieses Verlangen war es, das mir vor vier Jahren, wiewol ich nie als „Flugtechniker" zu gelten versuchte, die Feder in die Hand gedrückt hat, als ich — meines Wissens der Erste — den Nachweis erbrachte, daß der große Ballon rascher fliegen kann als der kleine, und mit dem Wunsche, ebenso mit dem, was hier entwickelt wird, meinem geliebten deutschen Volke, dem mein ganzes Tun und Treiben gewidmet ist, keine Unehre zu bereiten, schließe ich auch heute.

Salzburg, im Jänner 1900.

Der Verfasser.



Inhalt.

1. Der Winddruck.

Seite 1 bis 7.

2. Die Flüssigkeitsschraube.

Seite 8 bis 44.

1. Auf das Verhalten der Flüssigkeit begründete Form der Schraube. Seite 8 bis 21.

Hauptursache des Rückbleibs, nur bei hohl gewölbter Fläche gleichmäßiger Druck erreichbar, im radialen Sinne gleiche Druckverteilung unmöglich. S. 14. — Umso wichtiger im tangentiellen Sinne, anfängliche und durchschnittliche Steigung der Schraubenfläche, matematische Genauigkeit nicht erforderlich, Kreisbogen als Leitlinie. S. 15. — Metallstärke einseitig zuzulegen, stark erhabene Wölbung der Vorderfläche unschädlich, Raumentleerung, statischer Ueberdruck die einzig wirkende Kraft. S 16. — Nur ein Teil des statischen Pressungsdruckes zu überwinden, vorteilhafter die ganze Wölbung nach vorne zu verlegen. S. 17. — Mäßige Steigung S. 18. — Druckzerlegung bei gewölbter Schraubenfläche. S. 19. — Für rasche Fortbewegung größere Steigung erforderlich, bei Luftschrauben ganz geringe Steigung durchführbar. S. 20.

2. **Beziehungen zwischen der Flüssigkeitswirkung und der Gestalt anderer Vorrichtungen.** Seite 21 bis 35.

1. **Geschoß.** S. 21 bis 29. Gestalt der Geschoße nicht mehr verbesserungsfähig, ebene Hinterfläche nicht schädlich, Luftnachströmung von der Geschoßgeschwindigkeit unabhängig. S. 22. — Geschoßflug unter Wasser, Luftleere hinter dem Geschoß, statischer Ueberdruck gegenüber dem dinamischen Druck belanglos. S. 23. — Gewölbter Geschoßkopf, Luftpressung an der Geschoßspitze, noch mehr, wenn das Geschoß auch vorne eben abgeschnitten wäre, die relative Bewegung der Luft in Betracht gezogen. S. 24. — Krümmung der Luftstrahlen, Pressungskegel, kreisrund durchschossene Fensterscheiben, auch durch große Hagelschollen. S. 25. — Auch das ausgeschossene Stück nicht zerbrochen, bei Doppelfenstern das innere stets zerschmettert. S. 26. — Luft-Pressungskegel auch am kegelförmig zugespitzten Geschoß, Wendepunkt der Luftstrahlen am vorderen Geschoßrand, statischer Unterdruck. S. 27. — Beim gewölbten Geschoßkopf überall Wendepunkt, überall Unterdruck, der Ueberdruck nicht der Atmosfärenpressung, sondern dem Pressungskegel entnommen. S. 28. — Beim Luftballon die eiförmige Abrundung der Spitze unbedingt verfehlt. S. 29.

2. **Turbine.** S. 29 bis 30. Nichts mehr zu verbessern, das Kreissegment die richtige Schaufelkrümmung, Uebereinstimmung mit Schiffssegel und Fallschirm.

3. **Schleuderrad.** S. 30 bis 35. Die ganze Schaufel soll radial stehen, „Stoß" undenkbar, nur der äußere statische Pressungsdruck bewirkt das Einströmen, wirkt nur dorthin wo Entleerung vorangeht. S. 31. — Leitschaufeln nur schädlich, beiderseits messerscharfe Schaufelenden, gleichmäßige Beschleunigung der Flüssigkeitsbewegung. S. 32. — Der Turbine den Kreisbogen, dem Schleuderrad die radiale Gerade, mein verfehltes Patent, Gegensatz zwischen Turbine und Schleuderrad. S. 33. — Der alte Lehrsatz gibt unmittelbaren Aufschluß nur über die Turbine, nicht über das Schleuderrad, Nichtumkehrbarkeit des Vorganges. S. 34. — Patentstreit, ich habe obsiegt, war aber im Unrecht. S. 35.

Netz. S. 47. — Einziehung durch den Füllansatz, Blähung aufwärts, denkbar bester Fallschirm. S. 48. — Nicht erfinden, sondern nach gegebenen Anhaltspunkten gewissenhaft konstruiren. Graf Zeppelin's Formgebung hoch überragend, die riesigen Abmessungen entscheidend, Antriebsvorrichtung verfehlt, Wagenräder statt Schlittenkufen, beim Wasserschiff keine Wahl. S. 49. — Zugseil und Adhäsionsrad untunlich, aber günstige Wirkung der Schraube nur bei langsamer Fortbewegung, in der Luft Hingleiten vermöge der eigenen Schwere, Irreführung durch die Aviatiker, Maxim, Langley, Herring nur Scheinerfolge erzielt. S. 50. — Das alte perpetuum mobile. Die zuverlässigste Segelfläche der lange schmale Schraubenflügel. S. 51. — Arbeitsfortpflanzung durch Unökonomisches auf Unzuverlässiges sinnlos, Erklärung der Scheinerfolge Maxims, Langleys und Herrings. S. 52. — Herring hat am wenigsten schief gedacht, Kreß bedauernswert, die verschiedenen Beförderungsarten. S. 53. — Pumpvorrichtung, Graf Zeppelins erste Versuche werden die Unzulänglichkeit des wagrechten Antriebs ergeben, andere Abänderungen, Triebschrauben an die Gondeln, Aufwärtsbewegung erleichtert. S. 54. — Steuersegel entbehrlich, Vereinfachung des Antriebs, genügende Festigkeit, Gewichtsersparung durch Verlegung. S. 55. — Lose Verbindung zwischen Gondel und Ballon, bei einer Gondel mit Hebeschraube alle Anstände beseitigt, seitliche Segelflächen, ein Tragseil. S. 56. — Gondel verschiebbar, Steuerschraube, quer ausgespreizte Segel wirksamer aber untunlich, Stab und Balken. S. 57. — Gewicht steigt mit der vierten Potenz der Länge, nur schmale Segelflächen zulässig, dennoch wertvoll. S. 58. — Arbeitsminimum der lebenden Segler unerreichbar, schwerer als die Luft, aber nicht gleich um das Tausendfache, abgesehen von großer Gefahr Herring'sche Segel in Verbindung mit Ballon und Hebeschraube nicht kurzweg unmöglich. S. 59. — Die Vorarbeit Anderer soll nicht ungenützt bleiben, vielleicht sogar bei Kreß etwas Nachahmenswertes, Anwendung der querliegenden schmalen Segelflächen auf Zeppelin's Ballon, Bambusstäbe, Regenschirmspangen. S. 60. — Kurze Schnürchen, selbsttätige richtige Einstellung der Segelflächen, senkrecht auf und nieder. S. 61. — Plötzliche Hemmung des wagrechten Flugs, bei 1000 kg Auftrieb nur 3 kg Belastung des einzelnen Flügels, die plumpe Gestalt braucht nicht abzuschrecken, statt einer vielleicht vier Hebeschrauben. S. 62 — Größere Umdrehungsgeschwindigkeit, größte Fluggeschwindigkeit nur bei gewisser Größe erreichbar, vielleicht näher an 50 als 125 m, Heil den Bahnbrechern! S. 63. — Einschub. Segelfläche nicht neben, sondern unter den Ballon, vom Kiel ausragend. S. 64. — Wenig Versteifung erforderlich, viel geringere Gesamtbreite. Auch Graf Zeppelins Ballon bedeutet die Lösung der Aufgabe der Lenkbarmachung des Luftschiffs — nur die Landung bleibt bedenklich. S. 65. — Nicht die Herrschaft über die wagrechte, sondern über die senkrechte Bewegung gibt den Ausschlag. S. 66.

---

1. Der Winddruck.

Soviel über Winddruck schon gesprochen, geschrieben, gerechnet und experimentirt wurde, ist der grundlegende Satz, auf den die ganze Lehre vom Winddruck gestützt sein sollte, um nicht zu Fehlschlüssen der verschiedensten Art zu verleiten, aus allem, was an richtigem und irrigem schon aufgestellt wurde, bis jetzt noch nicht in der zweckdienlichen Einfachheit herausgeschält worden.

Aus der relativen Bewegung nicht eingeschlossener Luft gegen eine ruhende oder bewegte Fläche entspringender Flächendruck kann nur dort entstehen, wo durch das Hingleiten der Luft an der Fläche den die Fläche berührenden Luftteilchen und mittelbar der angrenzenden Luftmenge eine **Beschleunigung** im Sinne der Normalen auf die Fläche aufgenötigt wird, und nur mit der im Sinne des Krümmungshalbmessers eintretenden Beschleunigung wächst der Druck.

Eine andere Quelle einseitigen Druckes nicht eingeschlossener Luft auf eine Fläche als die aus der Bahnkrümmung und der absoluten Geschwindigkeit der Luft entspringende **Fliehkraft** der Luft ist nicht denkbar.

Ebenso wie bei festen Körpern von meßbarer Größe jede andere als die geradlinige Bewegung Fliehkraft entwickeln muß, ist dies auch bei den unmeßbar kleinen Luftteilchen der Fall. Wo krummlinige Bewegungsbahn der Luftteilchen erzwungen wird, muß Fliehkraft entstehen, und wo bei nicht eingeschlossener Luft einseitiger Druck wahrnehmbar wird, kann nur die gekrümmte Bewegungsbahn der Luft als die Entstehungsursache des Druckes angesehen werden.

Fast ebenso unklar gedacht als das „Einfangen von Luftwellen“

oder gar das Hindurchschrauben durch den „zähen Luftkörper" ist es, bei nicht eingeschlossener Luft von „Luftpolstern" zu sprechen. Ebensowenig ein Bettfederpolster ohne seine Umhüllung gedacht werden könnte, kann von einem Luftpolster die Rede sein, wenn nicht der für einen bestimmten Zweck nach einer Richtung ausgenützte Pressungsdruck nach allen anderen Richtungen durch die feste Umhüllung der gepreßten Luft aufgefangen wird.

Nicht so glattweg widersinnig, aber doch irrig ist die bei den Aviatikern häufig vorkommende Annahme, daß eine Verdichtung der Luft deren „Tragfähigkeit" begründe. Denkt man sich ein zilindrisches Gefäß um seine Axe kreisend, allseitig geschlossen, nur durch die Axe freien Luftzutritt gewährend, so wird die in und mit dem Gefäße kreisende Luft natürlich nach dem Umfang drängen, also auf die Innenseite der zilindrischen Umhüllung einen Druck ausüben, der größer ist als der an der Umhüllung von außen nach innen und an der Axe auch von innen nach außen wirkende Atmosfärendruck. Durch die Vermehrung der Pressung wird auch eine gegen den Umfang des Zilinders zunehmende Verdichtung der kreisenden Luft entstehen. Eine Formel, nach der sich aus der Dichte der an der Axe zufließenden Luft, dem Durchmesser und der Umdrehungsgeschwindigkeit des Zilinders die an dessen Umfang eintretende Verdichtung der Luft berechnen ließe, gibt es nicht, aber durch wiederholte Integration läßt sich die gesuchte Größe näherungsweise soweit bestimmen, um zu erkennen, daß bei einer Umfangsgeschwindigkeit von $100 \frac{m}{sek}$ die Verdichtung, soviel ich mich seit Jahren her erinnern kann, noch kaum meßbar ist. Bei der ideellen Umfangsgeschwindigkeit von $1000 \frac{m}{sek}$ allerdings würde die Luft so stark verdichtet, um auch ohne Temperaturveränderung in tropfbar flüssigen Zustand zu geraten. Da aber Geschwindigkeiten von mehr als etwa $100 \frac{m}{sek}$ bei den Betrachtungen über Winddruck gegenstandslos wären, sieht man, daß bei der sogenannten Tragfähigkeit der Luft deren Verdichtung keine Rolle spielt.

Nicht ohne Bedeutung für alle aus dem Auftreten der Fliehkraft zu ziehenden weiteren Schlüsse ist der Umstand, daß aus der Formel, welche zur Bestimmung der durch die Fliehkraft entstehenden Pressungsvermehrung führt, der Halbmesser des kreisenden Zilinders

entfällt und nur dessen Umfangsgeschwindigkeit maßgebend bleibt. Das heißt, bei dem Druck, welchen die gegen eine Fläche bewegte Luft vermöge der Fliehkraft auf die Fläche ausübt, kommt es, matematisch genaue Stetigkeit vorausgesetzt, nicht darauf an, ob die Luft in flacher oder scharfer Krümmung von ihrer geradlinigen Bahn abgelenkt wird, sondern es hängt der Flächendruck nur von der Geschwindigkeit ab, in welcher sich die Luft in der irgendwie hohl gekrümmten Bahn bewegt. Da aber bei der elastischen Luft in noch höherem Maße als bei festen Körpern bei wiederholt plötzlicher Bewegungsänderung ein Teil der aufgewendeten mechanischen Arbeit sich in Wärme umsetzt, muß sich bei möglichst stetig gekrümmter Bewegungsbahn der Luftteilchen ein größerer Anteil an nutzbarem Flächendruck ergeben als dort, wo durch die Ungleichartigkeit der Bewegungsänderungen die übrigens niemals gänzlich zu umgehende Luftwirbelung in erhöhtem Maße hervorgerufen wird. Bei zu flacher Krümmung wird vermöge der in der Regel unvermeidlichen Unebenheit der Gleitflächen die Stetigkeit der Krümmung der Luftwege oft gänzlich ausgeschlossen.

Dies sind die Gründe, warum, wie es durch die Erfahrung und zahlreiche Versuche festgestellt ist, an mäßig gekrümmten Gleitflächen bei gleicher relativer Geschwindigkeit der Luft gegen eine starre Fläche auf die letztere ein größerer Druck ausgeübt wird als auf ebene oder zu scharf gekrümmte Gleitflächen.

In die Augen springende Beispiele der Veranschaulichung der Fliehkraftwirkung der an gekrümmten Flächen hinstreichenden Luft bieten das Schiffssegel und der Fallschirm. In beiden Fällen wird vermöge der stetigen Krümmung der Bewegungsbahn die Luft in der ganzen Ausdehnung der Fläche eine nahezu gleichmäßige Aenderung der Bewegungsrichtung erleiden und daher auch auf die ganze Fläche den annähernd gleichen Druck ausüben. Denkt man sich nun statt des üblichen, vermöge seiner Elastizität sich blähenden Fallschirmes eine kreisrunde ebene starre Fläche von gleichem Durchmesser, so würde die in ihrer relativen Bewegung senkrecht gegen diese Fläche anstürmende Luft, um unter dem Schirm seitlich zu entweichen, in der Mitte des Schirmes die stärkste Ablenkung ihrer Bewegungsrichtung erleiden, während die gegen die Periferie gelangende Luft

sich in der Fläche nahezu paralleler Richtung bewegen würde. Es hätten also dort die der Fläche zunächst liegenden Luftschichten kaum mehr weitere Ablenkung im Sinne der Normalen auf die Fläche zu erleiden und könnten daher auch keinen wesentlichen Druck auf die Fläche mehr abgeben. Aehnlich verhielte es sich mit an Stelle der Schiffssegel gedachten starren ebenen Flächen. Bei dem bei Schiffssegeln als Regel vorhandenen schiefwinkligen Anstürmen des Windes an die Segelfläche würde nur an dem dem Winde zugekehrten Rande des ebenen Segels die Luft zu stark gekrümmter Bahn gezwungen werden und dementsprechend auch nur dort großen Druck an das Segel abzugeben vermögen, während gegen den dem Winde abgekehrten Rand des eben gedachten Segels zu die Luftrichtung sich der Segelebene schon genähert hätte, daher auch hier wegen der geringeren weiteren Aenderung der Bewegungsrichtung auch der Druck abnehmen müßte.

Wie mancher strebsame Rechner, der sich für sein Leben gerne mit $\sin \alpha$ und $\cos \beta$ abgibt, es aber trotzdem unterläßt, die längst unumstößlich festgelegten Grundsätze der Dinamik auch auf die Luft anzuwenden, die, wenn auch kein „zäher“, doch ein Körper ist, und daher dem Gesetze der Trägheit nicht weniger unterliegt als eine Bleikugel, mag sich schon mit der Aufgabe abgequält haben, statt kugel- oder zilinderförmig geblähter ebene Schiffssegel herzustellen, weil sich diese viel genauer in die der Teorie entsprechenden Winkel gegen Wind und Schiffskiel einstellen ließen und daher (?) viel besseren Effekt geben müßten! Zum Glück ist aber nur die unverdaute und leichtfertig angewandte Teorie so grau, während, wer emsig und ehrlich die Wissenschaft zu Rate zieht, statt um jeden Preis erfinden zu wollen, nicht leicht so bösartig fehlgehen kann. Ein ebenes Segel könnte keinen Vorteil bringen, sondern hätte im Gegenteil zur Folge, daß ein Teil der Segelfläche ungenützt bliebe.

Durch die richtige Vergegenwärtigung des grundlegenden Satzes, daß nicht eingeschlossene Luft nur dort Druck ausüben kann, wo die Luft eine Beschleunigung im Sinne der Normalen auf die Druckfläche erfährt, erklären sich auch sehr anschaulich zwei kleine im Sinne des aviatischen Fliegens angestellten Versuche. Schon vor Jahren erzählte ein eifriger Mitarbeiter der „Zeitschrift für Luft-

schiffahrt und Physik der Atmosphäre“, wie ein Papierstreifen von etwa 3 und 10 cm Breite und Länge aus wagrechter Lage plötzlich losgelassen, beim Herunterfallen in heftig rollende Bewegung zu geraten pflegt. Ganz richtig wurde schon damals erkannt, daß diese Drehungsbewegung nur dadurch zu erklären sei, daß der Druck nächst der dem Winde zugekehrten Kante am größten sein müsse; die vorstehende Beurteilung des Vorganges an einem eben gedachten Schiffssegel zeigt, daß es die Wirkung der Fliehkraft der bewegten Luft ist, welche der ungleichen Verteilung des Winddrucks zugrunde liegt.

Einen anderen äußerst lehrreichen und sinnigen Versuch hat der ebenso begeisterte als in seinem Auftreten als Aviatiker liebenswürdige und bescheidene Major H. Weiße ausgeführt. An zwei gleichen, den Leib des Vogels versinnlichenden Holzkörperchen hat er ebenfalls gleiche, je 2 und 10 cm messende Streifen dünner Pappe als Flügel angebracht, bei dem einen Modell zu beiden Seiten der Länge nach an dem länglichen Holzklötzchen befestigt, bei dem anderen nach der Quere ausgespreizt. Das eine Modell nennt Weiße das Huhn, das andere den Albatros. Und in der Tat, wenn die beiden Dinger aus der richtigen Schrägstellung fallen gelassen wurden, ist trotz des gleichen Gewichtes und der gleichen Tragfläche das „Huhn“ fast senkrecht zu Boden gefallen, während der „Albatros“ sich in auffallend schräger Bahn niedergesenkt, somit weit ausgiebigeren Widerstand der Luft gefunden hat. Bei dem kurzen Weg, den die Luft im letzteren Falle quer über die Flügelfläche zurückzulegen hat, wird der Mangel der entsprechenden hohlen Wölbung nicht sehr empfindlich, daher der Luftwiderstand fast über die ganze Fläche wirksam bleibt, während bei den in der Länge nach der Flugrichtung angebrachten Flügeln ebenfalls wie beim ebenen Segel nur der vordere Teil des Flügels eine wesentliche Ablenkung der durch das Herabfallen verdrängten Luft hervorruft und daher auch nur hier, also nur an einem Teil der Flügelfläche größerer Winddruck erstehen kann.

Auch Wellner hat, gestützt auf seine mit so unermüdlichem, im besten Sinne des Wortes aufopfernden Gelehrtenfleiß abgeführten und für die ziffermäßige Bestimmung des Winddrucks für alle

Zeiten bemerkenswert gewordenen Versuche, wenn auch ohne Begründung, aber doch zutreffend festgestellt, daß mäßig hohl gewölbte Flächen den größten Luftwiderstand ergeben. Nur wenn bei dieser Gelegenheit von „parabolisch" gekrümmten Flächen gesprochen wird, klingt dies zwar nicht unwissenschaftlich, aber richtig ist es nicht. Die als Flugbahn gedachte krumme Linie, bei welcher die Beschleunigung im Sinne der Normalen konstant, daher der Winddruck auf eine nach dieser Linie zilindrisch gebogene Fläche über die ganze Fläche gleich verteilt ist, somit für die Gesamtfläche ein Maximum ergibt, ist nicht die Parabel, sondern der Kreis.

Erwähnt sei hier noch, daß Professor Wellners aus den Versuchen gewonnenes Schlußergebnis über die wirkliche Größe des Winddrucks von dem, was sich aus der Berechnung der Fliehkraft der Luft ergibt, nicht allzusehr abweicht. Ein kleiner Rechnungs- oder Beobachtungsfehler oder auch nur die Außerachtlassung eines mehr verborgen liegenden, aber doch nicht belanglosen Nebenumstandes müß zwar auf der einen oder anderen Seite unterlaufen sein, weil der tatsächlich gemessene Flächendruck eine höhere Einheitsziffer ergibt als die aus dem spezifischen Gewicht der atmosfärischen Luft näherungsweise berechnete Fliehkraftspressung. Der Unterschied ist aber, besonders im Vergleiche zu der großen Verschiedenheit, welche aus der Form der gedrückten oder drückenden Fläche erwächst, nicht so belangreich, daß man dieserhalb Wellners schöne runde Ziffer, $1\frac{kg}{m^2}$ bei $4\frac{m}{sek}$, bzw. $100\frac{kg}{m^2}$ bei $40\frac{m}{sek}$ Gleitgeschwindigkeit nicht im Gedächtnis behalten sollte. Bei dem Sicherheitsmehrfachen, das, solange nicht für diese oder jene Anwendung des Winddrucks zuverlässige Erfahrung vorliegt, bei jeder neuen Vorrichtung eingehalten werden muß, ist es nicht von großem Belang, ob bei der Herstellung von der einen oder anderen Ziffer ausgegangen wird. Wesentlich ist nur der Unterschied gegen die vornehmlich beim Schiffbau in Verwendung stehenden Beaufort'schen Annahmen über Winddruck, welche das Doppelte der Wellner'schen und beinahe das Dreifache des berechneten Fliehkraftdruckes betragen. Für die Berechnung der Stärke von Schiffsmasten und Raaen ebenso wie von Schornsteinen, Dächern und anderen dem Winde ausgesetzten Objecten kann es keinen Schaden bringen, wenn der Winddruck höher angenommen wird,

als er in Wirklichkeit besteht. Umsogeringer kann hier der Nachteil sein, als der Flächendruck mit dem Quadrat der Windgeschwindigkeit wächst, über die letztere aber nicht leicht zuverlässige Annahmen getroffen werden können. Wo aber der Winddruck durch die mechanische Bewegung der Druckfläche erzeugt und zu Bewegungszwecken verwendet werden soll, müßten aus zu hoch gegriffenen Ziffern die bittersten Enttäuschungen erwachsen.

Ein unliebsamer alte Gelehrtenbrauch fällt bei diesen Angaben besonders grell in die Augen. Welchen Sinn soll es haben, dort wo die ursprünglichen, aus der Beobachtung geschöpften Anhaltspunkte nicht zuverlässig sein können, das Endergebnis bis auf die Zehntausendstel zu berechnen? Die Größen π und e mögen, wenn es einem Rechenkünstler Spaß macht, auf hundert Stellen ausgerechnet werden, so wird doch jeder Ziffer ihre unumstößliche Bedeutung zukommen, aber bei einer Einheitsziffer für Winddruck, wo schon wegen der Schwierigkeit der Messung der obendrein noch zu quadrirenden Windgeschwindigkeit g e n a u e Angaben nicht leicht möglich sein werden, die Einheitsziffer auf fünf Stellen zu berechnen, ist gewiß nicht gerechtfertigt.

Den Druck auf die Flächeneinheit $\frac{P}{F}$ in $\frac{kg}{m^2}$ und die Gleitgeschwindigkeit v in $\frac{m}{sek}$ ausgedrückt, ist:

nach Wellner . . . . $\frac{P}{F} = 0{,}063\ v^2$,

aus der Fliehkraft ohne Berücksichtigung der, wie erwähnt, belanglosen Vermehrung der Dichte berechnet, für atm. Luft . . . . $\frac{P}{F} = 0{,}043\ v^2$,

ebenso für Wasser . . . . $\frac{P}{F} = 34\ v^2$,

nach Ing. Taschenb. „Hütte“, XV. Aufl. I. S. 277, für trockene Luft von 0° Cels. und 760mm Queckſ. . . . . $\frac{P}{F} = 0{,}12248\ v^2$.

2. Die Flüssigkeitsschraube.

1. Auf das Verhalten der Flüssigkeit begründete Form der Schraube.

Daß nicht nur der eine Gelehrte, der in seinem unbezähmbaren Drang, noch vor Schluß des Jahrhunderts ohne Ballon durch die Lüfte zu fliegen, wie schon erwähnt, vom „einschrauben in den zähen Luftkörper“ gesprochen hat, über die Wirkung der in einer Flüssigkeit kreisenden Schraubenfläche nicht recht Bescheid wußte, geht schon aus der bekannten Tatsache hervor, daß Ressels erste Schiffsschraube erst gut funktionirte, nachdem durch einen Unfall der größere Teil der Schraube abgebrochen war. Eine gewisse Aehnlichkeit mit der im festen Gewinde laufenden Schraube läßt sich natürlich nicht bestreiten, aber groß ist die Uebereinstimmung nicht. Die große Uebersetzung von der aufgewendeten tangentiellen auf die nutzbar werdende axiale Bewegung ist in beiden Fällen vorhanden. In demselben Verhältnis, als der im tangentiellen Sinne zurückzulegende Weg des Angriffspunktes größer ist als die Förderung im axialen Sinne, muß auch der in der axialen Richtung erzielte den in der tangentiellen Richtung aufgewendeten Druck übersteigen, aber doch ist bei der sich in der Flüssigkeit bewegenden Schraube keine Möglichkeit vorhanden, die bei der im Gewinde laufenden Schraube auftretende dauernde Pressung herzustellen. Bei der Gewindeschraube kann die Bewegung erst eintreten, wenn nebst der zur Ueberwindung der Flächenreibung der Schraube erforderlichen bewegenden Kraft diese überdies noch mit dem vorhandenen Widerstand in das Gleichgewicht gebracht war. Bei dem Aufhören der durch einen vorübergehenden Ueberschuß an Kraft hervorgerufenen Bewegung hört nur die Reibung auf, aber der Pressungswiderstand wird nicht verringert.

Ebenso wie bei der Wirkung des Keiles wird zwar vermöge der Reibung auch bei einer Verringerung oder dem gänzlichen Weg-

fall der treibenden Kraft keine Rückbewegung eintreten können, aber die während der Bewegung angewachsene Spannung wird unverändert fortbestehen. Bei der Flüssigkeitsschraube dagegen ist im Zustande der Ruhe der Widerstand immer gleich Null. Auch wenn vorher zur Erhaltung der Bewegung noch so große Kraft aufgewendet werden mußte, wird nach eingetretener Ruhe die kleinste neuerlich angewendete Kraft genügen, die Bewegung wieder einzuleiten. Bei der Gewindeschraube ist, von der Reibung abgesehen, die aufzuwendende Kraft unabhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit, bei der Flüssigkeitsschraube ist die Bewegungsgeschwindigkeit die einzige Quelle des Widerstandes, und sie allein bestimmt somit auch den aufzuwendenden Antriebsdruck. Aber nicht die absolute Geschwindigkeit der Schraube ist hier das maßgebende, sondern nur die relative Geschwindigkeit der Schraubenfläche gegen die anliegende Flüssigkeit. Bei einem im stehenden Wasser stillliegenden Schiff wird sich die Schraube in Bewegung setzen, sobald die aufgewendete Antriebskraft die Lagerreibung überwunden hat, bei einem gegen den Strom verankerten Schiff wird aber die Umdrehung der Schraube erst dann beginnen, wenn die Triebkraft hoch genug angewachsen ist, um der auf die Schraube drückenden Strömung, die, wenn keine Lagerreibung vorhanden wäre, der Schraube eine rückläufige Bewegung erteilen würde, das Gleichgewicht zu halten. Dasselbe gilt von der Luftschraube. In beiden Fällen ist es nur die gegen die Schraube relative Bewegung, aus der der Widerstand und daher auch erst die Möglichkeit, mechanische Arbeit aufzunehmen und einem bestimmten Zwecke zuzuführen, erwächst.

Alles das ist längst bekannt, aber daß es nicht die relative Geschwindigkeit als solche, sondern ausschließlich die durch die krummlinige Bewegung der Flüssigkeit erstehende **Beschleunigung** im Sinne der Normalen auf die Fläche ist, aus der Druck und Widerstand entstehen können, scheint noch nicht hinlänglich scharf berücksichtigt worden zu sein. Gerade dieser Umstand ist es aber auch, der für die Form der Flüssigkeitsschraube den Ausschlag gibt. Erst unter dieser Erwägung zeigt es sich, daß die Flüssigkeitsschraube, wenn sie günstig wirken soll, sich auch in ihrer

Gestalt in noch höherem Maße, als bisher angenommen wurde, von der Gewindeschraube unterscheiden muß. Soweit dies aus der Erkenntnis gefolgert werden konnte, daß die Flüssigkeitsschraube nur im Zustande der Bewegung Widerstand findet, ist es — wenigstens teilweise — auch längst verwertet. Sehr bald hat man es erkannt, daß ein den ganzen Kreis deckendes Stück einer Schraubenfläche oder gar mehr als ein Umgang, wie es bei Ressels erster Schraube der Fall gewesen zu sein scheint, vermöge der Flächenreibung auch das der Schraube anliegende Wasser in immer stärkeren Schichten in kreisende Bewegung versetzt, und dadurch die allein wirksame relative Bewegung wesentlich beeinträchtigt. Diese Erkenntnis verbunden mit dem Vorteile, durch Teilung der Schraube in einzelne Sektoren viel geringere axiale Abmessung der Schraube zu erzielen, hat erst die vier-, dann die drei- und schließlich die zweiflüglige Schraube zur Welt gebracht. Wiesehr aber hier das richtige Gefühl der Praktiker vorangeeilt ist, und die Teorie nicht einmal mit der Begründung des schon erreichten Vorteiles Schritt gehalten hat, geht daraus hervor, daß auch heute dreiteilige Schiffsschrauben immer noch vorkommen. Es mag ja sein, daß eine gutgeformte dreiflüglige Schraube besseren Erfolg gibt als eine widersinnig gebogene zweiflüglige, aber bei gleich entsprechender Gestalt des einzelnen Flügels, wird immer die zweiflüglige Schraube den Vorteil bieten, daß die angreifende Vorderkante des Flügels in ruhigeres Wasser eintritt und daher die bei der Herstellung der Schraube in Anschlag gebrachte relative Bewegung zwischen Schraube und Wasser sich in höherem Maße auch in Wirklichkeit einstellt, als wenn die Vorderkante eines Flügels sich unweit der Stelle bewegt, an der das Wasser die Hinterkante des voranstehenden Flügels verläßt und dort natürlich zum Teil schon in kreisende Bewegung versetzt ist.

Wie wenig diese Anschauung bisher durch die Teorie festgelegt war, geht vor Allem aus den schweren Irrtümern hervor, die sich bei den Vorschlägen der Aviatiker betreffs der Anwendung der Luftschraube eingestellt haben. Einer der schärfsten und gewissenhaftesten Rechner glaubte schon nahe daran zu sein, ein ganzes Lastschiff ohne Ballon auffliegen zu lassen. Auf Grund der Wellner'schen Formel

für den Luftwiderstand waren Geschwindigkeit, Druckfläche, Kraft und Last richtig in Einklang gebracht, nur sollte die erforderliche Druckfläche dadurch hergestellt werden, daß an einer Anzahl von aus einem Mittelpunkt gemeinschaftlich angetriebenen senkrechten Wellen je mehrere Luftschrauben übereinander gedacht waren. Diese Schrauben hätten natürlich je einen kreisenden Luftknäuel erzeugt, der an relativer Bewegung gegen die Schraubenflächen nicht mehr ergeben könnte, als wenn an jeder der stehenden Wellen nur zwei Flügel von zusammen etwa ein Zehntel der Fläche der übereinander angebrachten Schrauben vorhanden wäre.

Ganz im Gegenteil zu dieser verkehrten Vorstellung hat einer der ersten Aviatiker, wenn auch nicht mehr, doch ein richtiges Ahnen verraten. Ein hervorragender englische Gelehrte soll es gewesen sein, der als ein Haupterfordernis für die Flugtätigkeit das Vorhandensein von, wie er es nannte, undisturbed air, nicht beunruhigter Luft, bezeichnete. Wenn dies auch in dem Sinne, in dem es der Autor gemeint haben dürfte, als Warnung vor unregelmäßigen kleinen Luftwirbelungen, nicht ganz zutrifft, da derartiges Bewegtsein der Luft keinen nennenswerten Nachteil bringt, stimmt es doch insoferne mit der Wirklichkeit überein, als im Sinne der Bewegung der Druckfläche schon vorher vorhandene Bewegung der Luft durch das Abschwächen der relativen Bewegung den zu erzeugenden Druck verringern muß.

Die ersichtlich große Anstrengung, die ein Vogel aufzuwenden hat, um sich ohne Vorwärtsbewegung flatternd in derselben Höhe zu erhalten, gehört in dasselbe Gebiet.

Noch mehr ergibt sich auch schon aus der Betrachtung nur der relativen Bewegung, einstweilen noch ohne Berücksichtigung der in der Bewegung allein wirksamen in der Richtung der Normalen auf die Fläche eintretenden Beschleunigung. Wenn nicht die um ein vielfaches vermehrte Lagerreibung und Inanspruchnahme der Schraubenwelle nicht nur auf Verdrehung, sondern nebenher noch auf Biegung im Wege stünde, wäre, was den zu erzeugenden Widerstand in der Flüssigkeit, gleichviel ob Wasser oder Luft, betrifft, ein einziger lange, schmale Flügel das vorteilhafteste. Wegen der eben erwähnten überwiegenden und unausweichlichen

Nachteile könnte an die wirkliche Ausführung des Einflüglers nicht gedacht werden, aber doch wird durch die Vorstellung der in der Flüssigkeit hervorgerufenen Wirkung solcher Anordnung so recht deutlich gezeigt, welchen Vorteil es bietet, bei der Herstellung jedweder Luft- oder Wasserschraube vor allem darauf zu sehen, daß die in die Flüssigkeit einschneidende Vorderkante des Flügels von der Stelle, an welcher die Flüssigkeit den in der Bewegung vorangegangenen Flügel verlassen hat, möglichst weit entfernt sei. Innerhalb des durchführbaren ist dies am ausgiebigsten bei zwei langen, schmalen Flügeln erreicht.

Da der Länge des Flügels durch die verschiedenartigsten Rücksichten in der Regel recht enge Grenzen gezogen sind, hält es meist schwer, die für die erforderliche Leistung unerläßliche Flächenausdehnung des Flügels zu beschaffen. Bei Schiffsschrauben ist die Länge des Flügels vor allem durch den Tiefgang des Schiffs unüberschreitbar begrenzt, so daß hier mit bestem Willen die Breite nicht allzu knapp gehalten werden kann. Es fällt auch um so leichter, eine Uebertreibung in der Schlankheit der Flügelgestalt zu vermeiden, als innerhalb gewisser Grenzen die Verbreiterung im Verhältnis zu dem erzielten Gewinn an Flächenausdehnung nur geringen Schaden an Verringerung des zwischen den beiden Flügeln offenen Raumes verursacht. Wollte man z. B. die Breite nur mit $^1/_{20}$ des Kreisumfangs annehmen, so daß bei zwei Flügeln je $^9/_{20}$ auf den Zwischenraum entfallen, so sieht man sofort, daß, während durch die Verdopplung der Flügelbreite sich auch die Druckfläche verdoppelt, die Entfernung der Flügel von einander sich nur um $^1/_9$ verminderte. Es hätte also keinen Sinn, bei Schiffsschrauben eine geringere Breite als etwa $^1/_{10}$ des Kreisumfanges oder auch noch etwas darüber anzunehmen. Bei Luftschiffsschrauben ist zwar die Länge des Flügels nicht so scharf begrenzt, dagegen tritt hier der allzu gestreckten Form des Flügels ein anderes, bei Schiffsschrauben höchst unbedenkliches Moment in den Weg, das ist das Gewicht des Flügels. Der Flügel muß nämlich bei gleicher Flächenausdehnung an der Wurzel umso stärker gehalten werden, an je längerem Hebel der Flüssigkeitsdruck angreift, und da überdies der Druck mit dem Quadrat der im geraden Ver-

hältnis zur Länge des Flügels stehenden Gleitgeschwindigkeit wächst, sieht man sofort, daß bei übertrieben gestreckter Form des Flügels die Mehrbelastung des Luftfahrzeuges den aus der schlanken Gestalt erwachsenden Vorteil überwiegen müßte.

Das für die Wirkung des Flügels günstigste Verhältnis zwischen Länge und Breite, das heißt den längsten und schmalsten Flügel verträgt die zur Fortbewegung von Kanalschiffen verwendete Luftschraube, weil hier weder dem Gewicht noch der Länge des Flügels enge Grenzen gezogen sind.

Eines aber haben alle diese drei Verwendungsarten der Flüssigkeitsschraube gemein, daß nämlich mit der Vergrößerung der Druckfläche immer ein oder der andere Nachteil verbunden und daher volle Veranlassung gegeben ist, mit der Druckfläche so sparsam als möglich vorzugehen. Dies ist der Punkt, wo die richtige Beurteilung der Entstehungsursache des Flüssigkeitsdrucks von Bedeutung wird. Hier gilt es, die aus der Vergleichung eines hohlgewölbten mit einem eben gedachten Segel oder Fallschirm gewonnene Anschauung sinngemäß zu verwerten und überdies noch zu erwägen, um wieviel ungünstiger als selbst ein flacher, ein umgestülpter Fallschirm wirken müßte. Den Charakter des umgestülpten Fallschirms aber tragen mehr oder weniger alle bisher angewendeten Schiffsschrauben.

Wenn der Gestaltung einer Schiffsschraube die reine Schraubenfläche zugrunde gelegt und die erforderliche Materialstärke auf beide Seiten der matematischen Schraubenfläche verteilt wird, müssen beide Begrenzungsflächen des Flügels erhaben gewölbt ausfallen. Die Folge davon ist, daß sich für die arbeitende, das ist die dem Schiffskörper abgekehrte Fläche des Flügels nächst dessen in das ruhende Wasser einschneidender Vorderkante wesentlich größere Steigung der Schraubenfläche ergibt als an dem nächst der Hinterkante gelegenen Teil der Fläche. Wenn die Fläche günstig wirken soll, muß das umgekehrte der Fall sein.

Daß ein im ruhigen Wasser von einer Schraube angetriebenes Schiff nicht diejenige Geschwindigkeit annimmt, welche sich aus der Umdrehungszahl und der Steigung der Schraube rechnungsmäßig ergibt, ist bekannt. Beim Kettenschiff besteht dieser Unterschied nicht.

Mag die Strömung des Wassers noch so reißend und das Schiff noch so schwer beladen sein, so wird zwar die zur Fortbewegung des Schiffes aufzuwendende mechanische Arbeit entsprechend vergrößert werden müssen, aber die Geschwindigkeit des Schiffes wird dem Durchmesser und der Umdrehungszahl der Kettenrolle stets genau entsprechen. Nicht anders wäre es der Fall, wenn ein Schiff durch eine im metallenen Gewinde laufende Schraube fortbewegt würde. Da aber das Wasser ebensowenig Stützpunkt bietet als die Luft, im Gegenteil der Widerstand jedweder Flüssigkeit nur dadurch entstehen kann, daß die Flüssigkeit in Bewegung versetzt, beziehungsweise von der früheren Bewegung abgelenkt wird, ist das Zurückbleiben des Schiffs gegen die rechnungsmäßige Geschwindigkeit nicht etwa ausschließlich der ungenauen Ausführung, sondern in erster Linie eben dem Umstande zuzuschreiben, daß, um den zur Fortbewegung des Schiffskörpers erforderlichen Druck herzustellen, das an der Schraube anliegende Wasser in der Schiffsbewegung entgegengesetzte Eigenbewegung versetzt worden sein muß. Diese auch bei matematisch genau gedachter Ausführung zur Erzeugung des Druckes unerläßliche Eigenbewegung des Wassers bildet die Hauptursache des Rückbleibs der Schiffsbewegung. Das hinter der Schraube anliegende Wasser muß zurückgetrieben werden, bevor durch den hieraus entstehenden Druck die Vorwärtsbewegung des Schiffs entspringen kann.

Wie im Abschnitt Winddruck gezeigt, hängt aber der Druck nicht von der Geschwindigkeit, sondern nur von der Beschleunigung ab, welche der Flüssigkeit im Sinne der Normalen auf die Druckfläche aufgenötigt wird, und es wird daher bei der Schiffs- und Luftschraube nicht anders als beim Segel und Fallschirm der Druck nur dann über die ganze Druckfläche annähernd gleich verteilt sein, wenn auch die der Flüssigkeit aufgenötigte Beschleunigung im Sinne der Normalen soviel als möglich an jedem Punkt der Fläche dieselbe ist.

Im radialen Sinne ist bei der Schraube die gleiche Verteilung undenkbar. Da die an jedem Punkt vorhandene Gleitgeschwindigkeit proportional der Entfernung des Punktes von der Drehungsaxe ist, und der Druck noch überdies mit dem Quadrat der Geschwindigkeit

wächst, ist es bei der Schraube unausweichlich, daß nahe der Axe fast kein Druck ausgeübt wird und nur der äußere Teil des Flügels wesentlich belastet erscheint. Aber umsomehr ist darauf zu sehen, daß wenigstens über alle Punkte der Schraube, welche von der Drehungsaxe gleichweit entfernt sind, der Druck möglichst gleichmäßig verteilt werde. Dieses Ziel ist nur dadurch zu erreichen, daß, den Schnitt der Schraubenfläche mit einem um die Axe gedachten Zilinder ins Auge gefaßt, diese Schnittlinie, oder, um die Anschauung zu vereinfachen, deren Abwicklung jene gleichmäßige Krümmung aufweise, vermöge deren bei dem längs dieser Linie erfolgenden Hingleiten mit gleicher relativen Geschwindigkeit, die im Sinne der Normalen auf diese krumme Linie eintretende Beschleunigung der Flüssigkeit möglichst konstant sei.

Die Bewegung des Schiffes bei ruhendem Wasser vorausgesetzt, darf also an der Vorderkante des Schraubenflügels, mit der der Flügel in das ruhende Wasser einschneidet, dieses nicht sofort in rasche Bewegung versetzt werden, sondern es muß die dem Wasser zu erteilende Eigengeschwindigkeit mit Null beginnen und während des Hingleitens desselben bis zur Hinterkante des Flügels stetig wachsen. Um dies zu erreichen, muß die Schraubenfläche an der Vorderkante des Flügels jene Neigung besitzen, welche sich, ohne einen Rückbleib in Betracht zu ziehen, aus der Schiffsgeschwindigkeit ergibt. Gegen die Hinterkante des Flügels zu hat die Neigung der Schraubenfläche derart zu wachsen, daß die durchschnittliche Steigung der Schraubenfläche (von der Vorder- bis zur Hinterkante) der Schiffsgeschwindigkeit mehr dem Rückbleib entspricht.

Matematische Genauigkeit spielt hier keine Rolle. Jedem Schiffbauer ist der Rückbleib seines Schiffes gegen die Axialgeschwindigkeit der Schraube annähernd bekannt. Es braucht also nur ein beliebiges Schraubenmodell derart abgeändert zu werden, daß, die Abwicklung der Schraubenlinie in Betracht gezogen, die die Leitlinie der Schraubenfläche darstellende Hipotenuse des rechtwinkligen Dreiecks, dessen Kateten der axialen und der tangentiellen Geschwindigkeit eines in dem in Betracht gezogenen zilindrischen Schnitt gelegenen Punktes der Schraubenfläche proportional sind, durch einen Kreisbogen ersetzt werde, dessen Tangente an der Vorderkante des

Flügels die Leitlinie einer der Schiffsgeschwindigkeit ohne Rückbleib entsprechende Schraubenfläche darstellt und die vorgenannte Hipotenuse zur Sehne hat.

Der aus diesem Kreisbogen als Leitlinie sich ergebenden gekrümmten Schraubenfläche darf aber dann die erforderliche Metallstärke nicht beiderseitig, sondern nur nach der nicht arbeitenden, das ist dem Schiffskörper zugekehrten Seite des Flügels zugelegt werden, so daß die aus der kreisbogenförmigen Leitlinie entstehende hohl gekrümmte Schraubenfläche unverändert als die arbeitende Fläche auftritt.

Eine notwendige Folge dieser Anordnung ist die, daß die dem Schiffskörper zugekehrte Fläche des Flügels stark erhabene Wölbung aufweist. Das bringt aber keinen erheblichen Schaden.

Um die Richtigkeit dieses Satzes zu erkennen, bedarf es abermals nur der gewissenhaften Verfolgung der Vorgänge, die sich mit den unmeßbar kleinen Flüssigkeitsteilchen abspielen. Auch dort wo die Schaufelfläche durch ihre Bewegung die anliegende Flüssigkeit nicht vor sich herschiebt, sondern teils an der noch in Ruhe befindlichen Flüssigkeit glatt hingleitet, teils sich von derselben entfernt und dadurch den Raum, den kurz vorher der Flügelkörper eingenommen hat, der nachdrängenden Flüssigkeit freigibt, muß im letzteren Falle Bewegung und, da vorher Ruhe vorhanden war, Beschleunigung der Flüssigkeitsteilchen eintreten. Auch diese Beschleunigung kann nur durch einseitigen Druck hervorgerufen worden sein. Aber nicht Flächendruck ist hier aufgetreten, sondern nur der statische Pressungsdruck der Flüssigkeit ist in dem Maße, als er nach einer Richtung durch das Ausweichen der Begrenzungsfläche vermindert wurde, im entgegengesetzten Sinne wirksam geworden. Dieser Druck ist unter allen Umständen ein stetiger. Wo immer in einer Flüssigkeit ein leerer Raum zu entstehen droht, wird vermöge der nach allen zugänglich gebliebenen Richtungen vorhandenen Pressung Ueberdruck erwachsen und diejenige Bewegung hervorrufen, durch welche der Raum, der ohne das Zuströmen der Flüssigkeit leer geworden wäre, andauernd erfüllt bleibt. Da, von der bei glatten Flächen höchst geringfügigen Flächenreibung abgesehen, eine andere fördernde oder hemmende Kraft als die frei-

werdende Pressung nicht vorhanden ist, kann die vor der Schraube eintretende Bewegung der Flüssigkeit auch nur aus diesem Ueberdruck entstehen. Während hinter dem Flügel die Flüssigkeit in der Raschheit ausweichen muß, welche die Bewegung des Flügels vorschreibt, und daher der Druck von dem Ausmaß der gewaltsam hervorgerufenen Bahnkrümmung, also Beschleunigung im Sinne der Normalen abhängt, wird vor dem Flügel der Druck nicht durch die Bahnkrümmung erzeugt, sondern es richtet sich im Gegenteil die Bewegungsbahn nur nach Maßgabe der Richtung und Stärke des Ueberdrucks, der immer nur einen Teil des statischen Pressungsdrucks betragen kann.

Von der Form des Flügels hängt also der vor demselben auftretende Beschleunigungsdruck nur insoferne ab, als an einem Teil der Vorderfläche des Flügels deren einzelne Punkte im Sinne der Normalen auf die Fläche in der Zeiteinheit eine größere Wegstrecke zurücklegen als dort, wo die Steigung der Schraubenfläche der Schiffsgeschwindigkeit genau entspricht. Nur die durch die an diesen Punkten vorhandene größere Steigung der Schraubenfläche verursachte Verlängerung des in der Zeiteinheit vom Flächenelement im Sinne der Normalen zurückgelegten Weges ergibt die Geschwindigkeit der nachströmenden Flüssigkeit. An jenen Punkten der Fläche, wo die Steigung der Schiffsgeschwindigkeit entspricht, ist die Geschwindigkeit und daher auch die Beschleunigung der Flüssigkeitsteilchen vor der Schraube gleich Null. Also nur an jenen Stellen des Flügels, an welchen die dem Schiffskörper zugewendete Vorderfläche des Flügels größere Steigung der Schraubenfläche aufweist als die, welche der Schiffsgeschwindigkeit entspricht, wird vor dem Flügel Pressungsverminderung und daher hinter dem Flügel nebst dem dort entstehenden dinamischen Beschleunigungs- auch noch statischer Ueberdruck auftreten und gleichzeitig mit dem ersteren durch die aufzuwendende mechanische Arbeit zu überwinden sein. Rechnungsmäßig wäre es natürlich günstiger, wenn die Vorderfläche der Schraube als matematische Schraubenfläche mit der der wahren Schiffsgeschwindigkeit entsprechenden Steigung hergestellt werden könnte, weil dann die Nachströmungsgeschwindigkeit durchwegs Null wäre, und infolge dessen die Hinter-

fläche des Flügels keinen statischen Ueberdruck zu überwinden hätte. Die dem Schiffskörper zugekehrte Vorderfläche der Schraube würde dann in der ruhigen Flüssigkeit genau so laufen wie im starren Gewinde, wo die nichtarbeitende Schraubenfläche ebenfalls drucklos hingleitet. Wiewohl nun dies wegen der ohne weitere Begründung einleuchtenden Notwendigkeit, den Flügel sowol an der Vorder- als an der Hinterkante in möglichst scharfer Schneide auslaufen zu lassen, unmöglich ist, zeigt es sich doch als das vorteilhaftere, die zwecks des regelrechten Angriffes der hinteren Fläche des Flügels unerläßliche Abweichung von der matematischen Schraubenfläche einschließlich der durch die Materialstärke bedingten weiteren Wölbung zur Gänze dorthin zu verlegen, wo sie vermöge des Umstandes, daß hier immer nur ein Teil des an sich schon geringfügigen statischen Pressungsdruckes schädlich wird, den weitaus geringeren Nachteil bringt.

* * *

Zu dem, was in Uebereinstimmung der Flüssigkeits- mit einer im Gewinde laufenden Schraube an früherer Stelle gesagt ist, ist noch hinzuzufügen, daß in beiden Fällen mit sehr wenig Ausnahmen nur bei mäßiger Steigung guter Effekt zu erzielen ist. Bei der Gewindeschraube spielt, wie beim Keil, die Flächenreibung eine so große Rolle, daß statt der Zahnradübersetzung oder einer anderen Hebelvorrichtung die Schraube nur dort mit Vorteil angewendet werden kann, wo dir Last nur sehr geringen Weg zurückzulegen hat und so hoher Druck erforderlich ist, wie er nur mit wenig anderen Mechanismen auf so einfache Weise hergestellt werden kann. Bei der Flüssigkeitsschraube führen ganz andere Erwägungen zu demselben Resultat. Die Reibung spielt hier keine Rolle, wohl aber tritt bei der Flüssigkeitsschraube der Umstand hervor, daß von dem unter allen Umständen normal auf die Schraubenfläche wirkenden Druck bei hoher Steigung der große auf die tangentielle Komponente ent-

fallende Teil für die einzig nutzbringende Axialwirkung als verloren angesehen werden muß.

Die für die praktische Anwendung der Luftschiffsschraube aus diesem durch die Natur der Sache gegebenen Verhältnis zu ziehenden Schlußfolgerungen sollen im letzten Abschnitt bei der Besprechung des wenigen, was bis jetzt über das Graf Zeppelin'sche Luftschiff bekannt geworden ist, ihren Platz finden.

Hier sei nur noch erwähnt, wie es sich mit der Verteilung auf nutzbaren und verlustbringenden Flächendruck bei der nach dem Kreisbogen als Leitlinie geformten Schraubenfläche verhält. Vergegenwärtigt man sich die Abwicklung des Schnittes zunächst einer regelrechten Schraubenfläche mit einem um die Axe gedachten Zilinder, so wird die Schraubenfläche durch eine schräge Gerade dargestellt, welche gleichzeitig als die Hipotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks auftritt, dessen wagrechte Katete den tangentiellen und dessen senkrechte den axialen Weg darstellt, den ein Punkt der Schraubenfläche gleichzeitig zurücklegt. Für die matematische Schraubenfläche läßt sich der auf dieselbe normal wirkende, durch eine Senkrechte auf die Hipotenuse zu versinnlichende Druck ebenfalls in eine axiale und in eine tangentielle Komponente zerlegen, welche sich nach dem Parallelogramm der Kräfte zu dem Normaldruck verhalten werden, wie umgekehrt die beiden Kateten des besprochenen Dreiecks zur Hipotenuse. Bei der hohlgewölbten Schraubenfläche tritt als Abwicklung des Schnitts mit der Zilinderfläche an Stelle der Hipotenuse des Dreiecks ein Kreisbogen, wie derselbe im Bilde 2 des Lichtdrucks zur Anschauung kommt. Denkt man sich nun über dieses Kreissegment den an jeder Stelle normal zum Kreisbogen wirkenden Druck ebenfalls gleichmäßig über den Kreisbogen verteilt, so läßt sich auch dieser Gesammtdruck in eine axiale und eine tangentielle Komponente zerlegen, und man erhält durch eine kleine Integration das hübsche Resultat, daß der über den Kreisbogen gleichmäßig vertheilte Normaldruck sich zu seinen beiden Komponenten verhält, nicht wie die Hipotenuse des Dreiecks, sondern wie die Länge des über die Hipotenuse als Sehne gelegten Bogens zu den beiden Kateten. Man sieht also, daß bei der gewölbten Schraubenfläche, ebenso wie bei der matematischen, der auf tangentielle Bewegung der Luft, also

nutzlos aufgewendete Druck keine geringere Rolle spielt, als bei der regelrechten Schraubenfläche, und es ergibt sich daher die Notwendigkeit, im Interesse der Ökonomie an mechanischer Arbeit die Steigung der Schraubenfläche so gering zu halten, als nur irgend ausführbar.

Wo mittels der Schraube rasche Fortbewegung erzielt werden soll, was nur entweder durch hohe Steigung der Schraubenfläche oder durch übergroße Umdrehungsgeschwindigkeit herstellbar ist, wird die Sparsamkeit in der Steigung einerseits durch die technische Schwierigkeit, der Schraube allzugroße Umdrehungsgeschwindigkeit zu verleihen, begrenzt, anderseits durch den sogenannten Stirnwiderstand, der insbesondere bei Wasserschrauben wegen der, wie schon früher erwähnt, hier erforderlichen größeren Metallstärke niemals gänzlich zu vermeiden ist. Rechnungsmäßig wird sich wol die Grenze nicht bestimmen lassen, bei welcher der durch die geringe Steigung erzielte Vorteil (möglichste Vermeidung der tangentiellen Bewegung des Wassers) durch die Vermehrung von Reibung und Stirnwiderstand aufgewogen wird. Aber immerhin dürfte bis jetzt diese Grenze noch nicht erreicht sein. Auch bei Schiffsschrauben dürfte, abgesehen von der früher besprochenen Gestaltung der Flügel auch aus der Vermehrung der Umdrehungsgeschwindigkeit mit entsprechender Verminderung der Durchschnittssteigung der gewölbten Schraubenfläche noch ein Vorteil gegen die bisherige Herstellungsart zu ziehen sein.

Anders liegt der Fall bei der Luftschraube. Hier kann vor allem durch die messerscharfe Auskantung des Flügels der Stirnwiderstand auch bei der größten Umdrehungsgeschwindigkeit als beseitigt betrachtet werden. Ebenso kann es kaum schwer fallen, die Schraubenflügel so glatt herzustellen, daß auch die Luftreibung an der Flügelfläche keine große Rolle spielt, und es kann daher überall dort, wo es sich nicht um die axiale Geschwindigkeit der Fortbewegung, sondern nur um die Herstellung des Flächendrucks handelt, auf bisher ungeahnt geringe Steigung der Schraubenfläche gegriffen werden. Eine Grenze wird hier einzig und allein durch die Genauigkeit der Ausführung gezogen. Die Steigung der Schraubenfläche darf nur nicht geringer angenommen werden, als daß der der

Fortbewegung des Fahrzeugs entsprechende Einfallswinkel gegen eine zur Schraubenaxe senkrechte Ebene und ebenso die stetige Krümmung des Flügels von der Vorder- bis zur Hinterkante noch ungestört vorhanden ist.

---

2. Beziehungen zwischen der Flüssigkeitswirkung und der Gestalt anderer Vorrichtungen.

Nicht uninteressant ist es, im Anschlusse an die auf Seite 16 bis 18 durchgeführten Betrachtungen, zu verfolgen, inwieweit bei anderen technischen Vorrichtungen, bei welchen ebenso wie bei der Schiffs- und Luftschraube, die zwischen Flüssigkeit und festen Körpern auftretende relative Bewegung die Hauptrolle spielt, der Verschiedenheit der vor und hinter dem festen Körper auftretenden Flüssigkeitsbewegung in einzelnen Fällen in der Praxis schon volle Rechnung getragen ist, in anderen dagegen dieser wesentliche Unterschied bis zur Stunde noch nicht erkannt wurde, und dementsprechend — mit Ausnahme der Flüssigkeitsschraube allerdings nur dort, wo die unzulängliche Beurteilung keinen nennenswerten Nachteil bringt — seit Jahrzehnten nach der alten Gewohnheit fortgearbeitet wird. Zu den ersteren gehören die modernen Geschoße und die Turbinen, zu den letzteren die Kreiselpumpen und Zentrifugalventilatoren.

1. Geschoß.

Die sogenannte Spitzkugel hat sich von dem Augenblick des ersten Aufblitzens dieses Gedankens an so rasch Bahn gebrochen und ist ungeachtet des Aufwandes an Geist und Geld, die beide mit so großer Vorliebe der Vervollkommnung der Mordwaffen zugewendet werden, der Hauptsache nach so unverändert geblieben,

daß man wohl mit Recht annehmen kann, es werde hier nicht mehr viel zu verbessern sein. Die kegelartige Zuspitzung der Vorderfläche und die zur Geschoßaxe senkrechte ebene Hinterfläche wird so ausnahmslos eingehalten, daß man nicht erst viel darnach zu fragen braucht, in welchem Maße bei dieser Gestaltung die Verfolgung einer verläßlichen Teorie oder das richtige Gefühl des ausübenden Technikers mitgearbeitet haben mag. Wenn es von wesentlichem Vorteile wäre, würde sicher ebenso wie alle gut gebauten Schiffe auch das Geschoß nicht nur nach vorne, sondern auch nach hinten abgeschrägt hergestellt. Der Gedanke liegt so nahe, daß gewiß auch diesbezügliche Versuche schon abgeführt wurden, die aber einen so geringen, vielleicht gar nicht meßbaren Vorteil in der Wirkung der Geschoße ergeben haben dürften, daß sie selbst die kleine Schwierigkeit, welche die nach vorne und hinten simmetrische Gestaltung des Geschoßes bei der Herstellung der Patrone verursachen würde, nicht aufzuwiegen vermöchten. Die Vergegenwärtigung der Art der Luftströmung, welche durch den Flug des Geschoßes vor und hinter demselben entstehen muß, zeigt auch, daß die ebene Hinterfläche keinen wesentlichen Nachteil verursacht. Der an der Vorderfläche des Geschoßes auftretende Beschleunigungsdruck der zum Ausweichen gezwungenen Luft, wächst mit dem Quadrat der Fluggeschwindigkeit. Der Druck, durch welchen das Nachströmen der Luft bewirkt wird, kann, weil er nur der statischen Pressung der Luft entspringt, dieselbe niemals übersteigen. Der die Bewegung des Geschoßes hemmende Luftwiderstand wird natürlich umso geringer sein, je weniger die Luft gezwungen wird, die große Geschwindigkeit des Geschoßes mitzumachen, das heißt, sich auf das viel geringere Geschwindigkeit erfordernde seitliche Ausweichen beschränken kann. Vor dem Geschoß kann dieser Zweck nur durch die möglichst schlanke Spitze erreicht werden, hinter dem Geschoß vollzieht sich das seitliche Zuströmen von selbst. Da hinter dem Geschoße die Luftbewegung durch keine andere Kraft als den Pressungsdruck der Luft entstehen kann, dieser aber allseitig wirkt, wird der Hohlzilinder, welcher ohne Zuströmung der Luft hinter dem Geschoße entstehen müßte, gleichzeitig von allen Seiten ausgefüllt. Die Raschheit dieser seitlichen Zuströmung ist daher von der Fluggeschwindigkeit unabhängig.

Deutlich erkennbar wird dies, wenn man zuerst den Lauf eines statt in der Luft im Wasser fliegenden Geschoßes verfolgt. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser, beispielsweise in einer Tiefe von 10 m unter dem Wasserspiegel in den luftleeren Raum, das ist also mit einem Ueberdruck von 2 $\frac{kg}{cm^2}$ ausströmt, beträgt 20 $\frac{m}{sek}$. Eine höhere Geschwindigkeit kann in dieser Tiefe das Wasser hinter dem Geschoße nie erreichen. Bei jeder größeren Geschwindigkeit des Geschoßes wird also hinter dem Geschoße ein leerer Raum von kegelartiger Form entstehen. Bei geringer Geschoßgeschwindigkeit wird es ein flacher, bei großer ein langgestreckter Kegel sein, dessen Gestalt aber auf den Lauf des Geschoßes keinen Einfluß nehmen kann, da die Grundfläche dieses luftleeren Kegels bei jeder mehr als 20 $\frac{m}{sek}$ betragenden Geschwindigkeit des Geschoßes den ganzen Geschoßquerschnitt einnehmen wird und somit die lebendige Kraft des Geschoßes im Wasser immer nebst dem vor dem Geschoße auftretenden dinamischen Widerstand des zu verdrängenden Wassers noch den vollen statischen Ueberdruck zu überwinden haben wird. Der Druck vor dem Geschoß könnte, wenn dasselbe auch vorne eben wäre, leicht bis gegen 1000 $\frac{kg}{cm^2}$ betragen; nimmt man aber für die 10 m unter Wasser abgeschossene Spitzkugel auch nur 100 $\frac{kg}{cm^2}$ Widerstand an, so wäre das doch noch immer das 50fache des statischen Ueberdrucks. Man sieht, daß es unter diesen Umständen keinen Sinn hätte, zwecks der Verringerung auch dieses belanglosen Teiles des Gesamtwiderstandes auch die Hinterfläche des Geschoßes irgendwie künstlich zu formen. Bei dem durch die Luft fliegenden Geschoß lassen sich, da vermöge der Elastizität der Luft nicht sofort vollständige Luftleere, sondern zunächst nur Luftverdünnung eintritt, kurzerhand nicht so bestimmte Ziffern angeben, aber das Verhältnis zwischen dem Beschleunigungsdruck vor dem Geschoß und dem vermöge der hinter dem Geschoße eintretenden Pressungsverminderung hinzuzuzälenden statischen Ueberdruck dürfte sich auch hier kaum wesentlich anders gestalten als bei dem Flug des Geschoßes im Wasser. Die allgemein übliche Gestalt der modernen Geschoße entspricht also vollständig den Anforderungen, die aus der richtigen Anschauung über die bei bewegter Flüssigkeit eintretenden Vorgänge gefolgert werden müssen.

Noch eine andere Erwägung, die den Vorteil des üblichen gewölbten Geschoßkopfes dartut, ergibt sich aus der weiteren Verfolgung des Satzes, daß, woimmer bei nicht eingeschlossener Luft Bahnkrümmung oder sonstige Beschleunigung wahrnehmbar wird, auch der zugehörige Druck auf das betreffende Luftteilchen vorhanden sein muß. Da das Geschoß nicht in scharfer Spitze ausläuft, sondern vorne eiförmig abgerundet ist, somit die die Geschoßfläche in der Mitte berührende Ebene senkrecht zur Flugaxe steht, also hier kein Flächendruck vorhanden sein kann, der die Luftteilchen in zur Axe senkrechte Bewegung versetzen könnte, müssen an dieser Stelle die Luftteilchen vom Geschoß mitgenommen werden. Infolge dessen wird vor der Spitze des Geschosses die Luft verdichtet, daraus entsteht statische Pressung und, da diese allseitig wirkt, ist sie es, welche den ringsum anliegenden Luftteilchen jene Bewegung erteilt, welche im weiteren Verlauf das Ausweichen der Luft vor dem Geschoße bewirkt.

Wäre das Geschoß auch an der Vorderseite durch eine zur Axe senkrechte Ebene begrenzt, so müßte die ganze Vorderfläche unter Pressung stehen. Durch die dem Geschoß voraneilende Fortpflanzung dieser Pressung in der Flugrichtung wird, soweit die Pressung reicht, vermöge deren Allseitigkeit die anliegende Luft nach allen freiliegenden, also nach allen in der vor dem Geschoße gedachten Halbkugel möglichen Richtungen in Bewegung gesetzt. Durch dieses Ausweichen der freien Luft wird aber gleichzeitig die Pressung und dadurch auch die weitere Beschleunigung wieder vermindert und es müssen sonach Pressung und Beschleunigung in der Nähe des mit ebener Vorderfläche versehenen Geschoßes stärker sein als in weiterer Entfernung vor dem Geschoße.

Leichtere Uebersicht über den Vorgang gewinnt man, wenn man sich das Geschoß als ruhend und die Luft in der Richtung der Axe des Geschosses bewegt vorstellt. Es wird dann in einer gewissen Entfernung vor dem Geschosse die seitliche Ausbiegung der Luftstrahlen beginnen und sich in stetiger Krümmung bis an den Rand des Geschoßes fortsetzen. Denkt man sich den aus der Axe des Geschoßes in einer gewissen Entfernung vor dem Geschoße in solcher Weise abgelenkten Luftstrahl als die Erzeugende einer um

die Flugaxe gedachten kegelartigen Fläche, so wird an jeder Stelle dieser Fläche der Krümmungshalbmesser des Schnittes dieser Fläche mit einer durch die Axe gelegten Ebene dem an dieser Stelle vorhandenen Ueberdruck entsprechen. Da die Pressung von der Geschoßfläche aus nach vorne — zweifellos stetig — bis zur Atmosfärenpressung abnimmt, muß jedem zwischenliegenden Ueberdruck ein geometrischer Ort zugewiesen sein. Da aber gleichmäßiger Druck die Bewegung nach einem Kreisbogen ablenkt, muß der geometrische Ort der Pressungsgleichheit in einer kegelartigen Fläche liegen, deren Erzeugende ein die Axe berührender und die Vorderkante des Geschoßes schneidende Kreisbogen ist.

Solcher kegelartiger Flächen, innerhalb deren gleiche Pressung besteht, gibt es unendlich viele, und zwar beginnen dieselben mit einem Viertelkreis, der einerseits die Axe und anderseits am Rande des Geschoßes die Vorderebene des Geschoßes berührt, und schichten sich in immer gestreckterer Form derart übereinander, daß sie alle von der Axe auslaufen und den Rand des Geschoßes in immer größerem Winkel zur Vorderfläche des Geschoßes schneiden. Diese Art der Pressungs- und Bewegungs-Schichtung ist es, welche man als den Pressungskegel zu bezeichnen pflegt. Die jedenfalls mit der Fluggeschwindigkeit des Geschoßes wachsende Länge, geometrisch gesprochen, Höhe dieses Kegels dürfte schwer zu bestimmen sein. Sie hängt offenbar ab von dem Verhältnis der Geschwindigkeit des Geschoßes zur Fortpflanzungsgeschwindigkeit der aus der Geschoßgeschwindigkeit entstehenden Pressung vor dem Geschoße und von deren Abnahme mit der Entfernung vom Geschoße.

Sehr anschaulich erklärt sich aus dieser Vorstellung das bekannte kreisrunde Loch, welches beim Durchschießen einer Fenstertafel entsteht. Noch viel auffallender als der scharfe Rand ist der Umstand, daß nicht nur die Fensterscheibe, sondern auch das herausgeschossene Stück nicht zersplittert wird. Ein Anfang der fünfziger Jahre niedergegangenes rasende Hagelwetter mit mehr als hühnereigroßen Eisschollen, das armdicke Aeste von deu Bäumen brach, hat mir diese merkwürdige Erscheinung gezeigt. Unter den Hunderten von zerbrochenen Fensterscheiben haben nicht wenige die sonst nur von Gewehrkugeln herrührenden kreisrunden Löcher gezeigt, aber keines

davon unter 7 bis 8 cm Durchmesser. Dieser letztere Umstand rührt aus derselben Ursache her, die den großen Ballon zum fliegen zweckdienlicher macht als den kleinen. Eine Bleikugel kann auch bei sehr kleinem Durchmesser mit großer Geschwindigkeit durch die Luft fliegen, während eine Eisscholle mit dem specifischen Gewicht 1 schon bedeutenden Umfang besitzen muß, damit ihre Maximal-Fallgeschwindigkeit zur Erzeugung des kreisrunden Loches ausreiche.

Das merkwürdige bei jenem Hagelwetter war aber, daß sich einzelne der orangengroßen kreisrunden Glasstücke fanden, die in die ausgeschlagenen Löcher hineingepaßt haben. Wie konnte denn die Glastafel bei der ersten Berührung mit der Eisscholle schon wissen, in welchem Durchmesser sie auszubrechen habe, um das Geschoß frei durchfliegen zu lassen? — — Wo ein kreisrundes Loch entsteht, ist die Glastafel mit dem festen Körper überhaupt nicht in Berührung gekommen, sondern der vor dem Geschoße herfliegende Pressungskegel der Luft war es, welcher sich an der Glasscheibe gestaut und so das kreisrunde Stück sachte durchgedrückt hat.

Diese Zeilen waren schon am Setzerkasten, als die Nachricht von einem gegen eine altkatolische Versammlung gerichteten Ueberfall durch die Zeitungen gieng. Ein Schuß war durch das Fenster gedrungen. „Das äußere Fenster“, heißt es dort, „war glatt durchschossen, die Scheibe des inneren Fensters zertrümmert ...“. Ganz richtig. Durch den Anprall an die äußere Scheibe wurde der Pressungskegel zerstört, und der Zwischenraum zwischen den beiden Glastafeln war zu gering, als daß sich nach dem Herabfallen des ausgedrückten Stückes der Pressungskegel wieder hätte entwickeln können. So mußte das Blei mit dem Glas in unmittelbare Berührung kommen und dieses zertrümmern. Bei einem Zwischenraum von 2 bis 3 m würde wohl auch die zweite Scheibe das bekannte kreisrunde Loch aufweisen.

Doch nun zurück zur Spitzkugel. Auch wenn das Geschoß nicht durch eine zur Axe senkrechte Ebene begrenzt ist, sondern in einen regelrechten Kegel ausläuft, wird trotzdem vor diesem festen Kegel der Luftpressungskegel sich auch noch einstellen, und zwar deshalb, weil, abermals die relative Bewegung der Luft gegen das Geschoß ins Auge gefaßt, der Mittelstrahl sich an der Spitze des Kegels

ebenfalls nicht in einem, wenn auch noch so stumpfen, aber doch scharfen Winkel abbrechen kann. Solche plötzliche Bewegungsänderung wäre nur unter der Voraussetzung denkbar, daß an der matematischen Spitze des festen Kegels der Flächendruck endlos gewachsen wäre. Nur mit während eines Zeitraumes von $\frac{1}{\infty}$ wirkender seitlichen Beschleunigung $= \infty$ wäre ein wenn auch noch so stumpfer scharfe Winkel in der Bewegungsbahn denkbar. Es wird sich also auch vor dem in einen regelrechten Kegel auslaufenden Geschoß an dessen Spitze eine Stauung der Luftteilchen, und zwar in dem Maße einstellen, daß die Ausbiegung des Luftstrahles bis zur Richtung der Kegelfläche eine stetige wird.

In der zweifellos schlanken Gestalt dieses vor einem kegelförmig zugespitzten Geschoße entstehenden Pressungskegels zeigt sich anschaulich der Vorteil, welchen das kegelförmig zugespitzte Geschoß vor dem eben abgeschnittenen bietet.

In beiden Fällen aber, bei dem eben abgeschnittenen, wie auch bei dem kegelförmig zugespitzten Geschoße, wird am Beginn des zilindrischen Teils des Geschoßes eine Ausströmung der Luftteilchen mit radialer Geschwindigkeitskomponente vorhanden sein. Um die ausstrahlende Richtung der Luftteilchen in die der Axe parallele Richtung zurückzuführen, ist abermals einseitiger Druck erforderlich. Dieser Druck, welcher am vorderen, gleichviel ob stumpfwinkligen oder rechtwinkligen Rande des Geschoßes, zwar ebenfalls kein plötzliches Abbrechen, aber einen Wendepunkt in der Flugbahn der Luftteilchen hervorruft, kann nur aus der statischen Pressung der umgebenden Luft entstehen. Damit aber dieser wirksam werde, muß nach der entgegengesetzten Seite statischer Unterdruck vorhanden sein. Daraus geht hervor, daß hinter dem scharfen Rande, am vorderen Ende des zilindrischen Teiles des Geschoßes unter allen Umständen ein geringerer Flächendruck besteht, als der statische Pressungsdruck der Luft. Auf den Flugwiderstand kann diese Pressungsverminderung keinen Einfluß üben, weil hier die Fläche parallel der Flugbahn läuft, somit der stets normal auf die Fläche wirkende Druck eine axiale Komponente nicht abgeben kann. Ob der zilindrische Teil des Geschoßes unter hoher oder niederer Pressung steht, ist für den Flugwiderstand ohne Belang.

Anders verhält es sich bei dem in der üblichen Form gewölbten Geschoßkopf. Hier wird von dem vordersten, in zur Axe senkrechter Ebene verlaufenden Teil der Geschoßwölbung angefangen, bis zum Uebergang in die zilindrische Oberfläche überall der vorerwähnte Wendepunkt der Luftwege auftreten. An jeder Stelle der Wölbung bewegen sich die der Fläche zunächstliegenden Luftteilchen in der Berührungsebene. Damit nicht hinter jedem Schnitt einer zur Axe senkrechten Ebene mit der Geschoßfläche Luftleere entstehe, muß überall unmittelbar an der Fläche geringere Pressung herrschen als in einem gewissen Abstande von derselben. In diesem Falle braucht der Ueberdruck nicht von der Atmosfärenpressung allein herzurühren. Diese könnte nicht ausreichen, um trotz der großen Geschoßgeschwindigkeit die erforderliche Abbiegung der Luftstrahlen herbeizuführen. Faßt man einen etwa in der Hälfte der Wölbung gelegenen Punkt der Geschoßfläche ins Auge, so sieht man, daß der hier bestehenden Pressung, nicht wie bei dem vorne ebenen Geschoß die in der vor dem Geschoß gedachten Halbkugel möglichen Richtungen zur Ausstrahlung freigegeben sind, sondern die in jener Halbkugel möglichen Richtungen, deren Mittelpunkt der ins Auge gefaßte Punkt der Fläche und deren Halbirungsebene die in diesem Punkte an die Fläche gedachte Berührungsebene bildet. Es wird also die hier vorhandene Pressung auch in der dem zilindrischen Teil des Geschoßes zugewendeten Richtung ausstrahlen und schon in der geringsten Entfernung von der Fläche einen nach der Normalen gegen die Fläche gerichteten Pressungsstrahl abzugeben in der Lage sein. Dieser dem Pressungskegel entnommene Ueberdruck gegen den an der Fläche vorhandenen Druck ist es, welcher den Wendepunkt in den der Fläche noch näher gelegenen Luftstrahlen hervorruft, dann sich durch die im Sinne der Normalen gegen die Fläche hervorgerufenen Beschleunigung aufzehrt und dadurch verursacht, daß die als Flächendruck erübrigende Pressung an der Geschoßfläche geringer ist als im äußeren Teile des Pressungskegels. Da diese Unterpressung vermöge der Neigung des betreffenden Flächenteilchens gegen die Geschoßaxe eine axiale Komponente enthält, die, weil die axiale Komponente des Gesammtflächendrucks gegen den Flug

gerichtet ist, im Sinne des Fluges entlastend wirkt, wird durch die Wölbung der Fläche eine Verminderung des Gesamtwiderstandes hervorgerufen.

Die bei scharfer Kante, weil erst am zilindrischen Teile des Geschoßes eintretende nutzlos bleibende Pressungsverminderung kommt beim gewölbten Geschoßkopf der Widerstandsverminderung zugute.

Ob dieser Vorteil ausreicht, die durch die vermutlich wegen des Aufschlagens des Geschoßes erforderliche eiförmige Abrundung der Spitze verursachte Vergrößerung des Widerstandes vollständig wettzumachen, vermag ich nicht zu beurteilen. Vielleicht tritt dies bei eine gewisse Grenze überschreitender Fluggeschwindigkeit ein; dann aber müßte über diese Grenze hinaus der Gesammt-Luftwiderstand nicht ganz mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zunehmen. Die regelrechte Zunahme würde sich nur bei dem durch die Spitze des Geschoßes verursachten ungeminderten Widerstand einstellen. Wenn bei einer gewissen Geschwindigkeit ein Ueberwiegen des Vorteils der Wölbung überhaupt eintritt, müßte bei weiterer Vergrößerung der Geschwindigkeit der Gewinn noch wachsen, und der Gesamtwiderstand bliebe also hinter dem durch das Quadrat der Fluggeschwindigkeit gegebenen Verhältnis zurück.

Bei geringer Geschwindigkeit, bei der der aus der Atmosfärenpressung abzugebende Ueberdruck ausreicht, die Wendepunkte in den Flugbahnen der einzelnen Luftteilchen herzustellen, ist dies sicher nicht der Fall. Einen Luftballon mit vorne abgerundeter, statt mit aus dem Kreisbogen als Erzeugender der kegelartigen Fläche entstehender scharfen Spitze herzustellen, kann sicher keinen Nutzen bringen.

2. Turbine.

Beim Turbinenbau hat es zwar lange gedauert, bis man aufgehört hat, sich mit dem bösen „Spaltendruck" den Kopf zu zerbrechen, und von der alten schwach gekrümmten Jonval-Schaufel zur nahezu halbkreisförmigen Schaufel der Girard-Turbine übergegangen ist, aber doch war man sich schon vor fünfzig Jahren klar darüber, daß für den Effekt einer Turbine nicht die Art der Krümmung der

Schaufel, sondern nur der von der Eingangs- und Ausgangstangente eingeschlossene Winkel maßgebend sei. Nur ganz im Geheimen will ich dem freundlichen Leser verraten, daß ich, bevor die Welt über Jonval hinausgekommen war, unter dem allgemeinen Eindruck, daß es da noch viel zu verbessern geben müsse, jahrzehntelang so manche Mußestunde damit ausgefüllt habe, auf analitischem Wege zur Gleichung der Kurve zu gelangen, welche als Schaufelform eine genau gleichmäßige Verteilung des Drucks über die ganze Schaufel ergeben sollte. Von Rittinger's sinniger Darstellung des absoluten Weges, den in einem Zentrifugal-Ventilator bei, wie Rittinger meinte, richtiger Schaufelkrümmung die Luftteilchen zurücklegen müssen, eingenommen, habe ich mich mit den unglaublichsten Spiralen höherer und höchster Ordnung abgequält, bis endlich das — Kreissegment sich als des Rätsels Lösung ergeben hat. Im Turbinenbau gibt es an Teorie und Praxis längst nichts mehr zu mäkeln — — nur die große Uebereinstimmung des Vorganges an der Turbinenschaufel mit dem, was bei Schiffssegel und Fallschirm den Ausschlag gibt, woraus dann auch auf die Flüssigkeitsschraube die richtigen Schlüsse gezogen werden können, scheint noch nicht genügend aufgedeckt worden zu sein.

3. Schleuderrad.

Die Turbine bedarf der Leitschaufeln, das Schleuderrad (Kreiselpumpe und Zentrifugal-Ventilator) nicht. Daß das Schleuderrad die größte Wirkung ausübt, wenn die Schaufel am Umfang radial ausläuft, hat schon im Jahre 1858 Rittinger, wenn auch höchst umständlich aber doch richtig herausgefunden, daß es aber einer Krümmung der Schaufel überhaupt nicht bedarf, ja daß jede Krümmung, die dem äußeren radialen Ende der Schaufel sozusagen als Leitschaufel dienen soll, wenn auch nicht erheblich, doch immer nur Schaden bringen kann, scheint bis jetzt noch nicht erkannt worden zu sein.

Um die größte Wirkung zu erzielen, muß die Flüssigkeit längs eines möglichst großen Teiles des Halbmessers mit der vollen Geschwindigkeit des Rades kreisen. Dies kann nur dort der Fall sein, wo die Schaufel radial steht. Es handelt sich also darum, daß nebst

einer hinlänglichen Anzal von Schaufeln nicht nur das äußere Ende, sondern die ganze Schaufel, deren Länge nach innen nur durch die Rücksicht auf den unbehinderten Eintritt der Flüssigkeit in das Rad begrenzt ist, radial verlaufe. Um zu vermeiden, daß die von der Axe aus eintretende Flüssigkeit an der Schaufelkante einen „Stoß“ erleide, glaubte man die Schaufel derart krümmen zu müssen, daß die Flüssigkeitsbewegung allmälig und stetig in die radiale Richtung gelange, welche sie zwischen den kreisenden Schaufeln anzunehmen gezwungen ist, bevor sie das Rad verläßt. Diese Vorsorge ist überflüssig. Für die Stetigkeit der Flüssigkeitsbewegung vor und bei dem Eintritt zwischen die Schaufeln sorgt der Ursprung dieser Bewegung. Die zwischen den Schaufeln befindliche Flüssigkeit wird durch die vermöge des erzwungenen Kreisens erzeugte Fliehkraft zum Hingleiten zwischen den Schaufeln genötigt. Hier ist also der Schaufeldruck das bewegende Moment. Vor dem Eintritt zwischen die Schaufeln aber ist keine andere Druckquelle denkbar als der außerhalb des Rades vorhandene Pressungsdruck, der in dem Maße und nach jener Richtung frei wird, in welcher die zwischen den Schaufeln befindliche Flüssigkeit vorwärts schreitet und daher, wenn von außen kein Nachschub erfolgte, eine Leere erzeugen müßte. Die durch diesen Vorgang entstehende Pressungsverminderung, verbunden mit dem außerhalb nach allen Richtungen vorhandenen gleichmäßigen Pressungsdruck ist die einzige Quelle der vor dem Eintritt in die Schaufeln entstehenden Flüssigkeitsbewegung. Bei der Unveränderlichkeit und Allseitigkeit des noch ungestörten Pressungsdruckes kann ein Ueberdruck nur aus vorher eingetretener einseitigen Verminderung der Pressung entstehen. Es ist daher gänzlich ausgeschlossen, daß eine Bewegung der Flüssigkeit in einer Richtung entstehe, in der die Flüssigkeit einem Hemmnis zu begegnen hätte. Die Flüssigkeit kann nur dorthin fließen, wo der Raum zur Aufnahme derselben sich schon zu entleeren begonnen hat. Aus diesem Grunde ist das Auftreten eines sogenannten Stoßes, das heißt die Notwendigkeit, einem in der Bewegungsrichtung vorfindlichen Hindernisse plötzlich auszuweichen, vollständig ausgeschlossen. Beim Eintritt der Flüssigkeit in das kreisende Rad ist ein Stoß nicht mehr zu befürchten als beim Austritt einer

Flüssigkeit aus einem großen Gefäße, gleichviel ob der Ausfluß durch die dünne Wand oder durch eine Düse erfolgt. Ebensowenig als es notwendig ist, in diesem Falle innerhalb des Gefäßes Leitschaufeln anzubringen, welche die Flüssigkeit in die Austrittsöffnung stetig einführt, ist auch bei jedweder Schaufelstellung zur Herstellung des stoßlosen stetigen Eintritts in das Schleuderrad keinerlei mechanische Zuleitung erforderlich. Im besten Falle könnten solche Leitschaufeln nach der Form gekrümmt sein, welche die Flüssigkeit auch ohne Leitschaufeln einnehmen würde, und dann bliebe erst noch die Flächenreibung als schädliches Moment vorhanden. Es kann also ohne Schaden umsomehr der Schaufel selbst in ihrer ganzen Ausdehnung jene Stellung gegeben werden, vermöge der auf der Flüssigkeit die größte Zentrifugalwirkung übertragen wird.

Um nebensächliche Störungen zu vermeiden, ist nach zwei Richtungen Vorsorge zu treffen. Erstens sollen die Schaufeln sowol am innern als am äußeren Ende messerscharf auslaufen, damit nicht nächst der Schaufelkante Wirbelungen entstehen, durch welche unausweichlich ein Teil der aufgewendeten mechanischen Arbeit sich in Wärme auflöse. Die zur Haltbarkeit der Schaufeln erforderliche Verstärkung wird, um der schon erörterten Bedingung der radial geradlinigen Schaufel als Druckfläche zu entsprechen, auf die im Sinne der Drehung *hintere* Fläche der Schaufel zu verlegen sein. Endlich kann es nur von Vorteil sein, wenn die Beschleunigung, welche die Flüssigkeit von der außerhalb des Rades vorhandenen Ruhe bis zu der größten Geschwindigkeit beim Austritt aus dem Rade erfährt, möglichst gleichmäßig verteilt wird. Vor dem Eintritt zwischen die Schaufeln wird auch diese Bedingung durch den statischen Druck allein erfüllt; innerhalb des Schaufelkanals setzt sich die wirkliche Geschwindigkeit der Flüssigkeit aus der Umdrehungsgeschwindigkeit des Rades und der relativen Geschwindigkeit der Flüssigkeit in den Schaufelkanälen zusammen. Die eine dieser beiden Komponenten ist vermöge des vom Eintritt bis zum Austritt wachsenden Halbmessers an sich schon eine gleichförmig wachsende. Außerdem wird es sich empfehlen, daß auch die zweite Geschwindigkeitskomponente wenigstens an keiner Stelle abnehme, womöglich auch vom Eintritt bis zum Austritt noch, wenn auch nur unbedeutend,

aber gleichmäßig zunehme. Dies wird dadurch erreicht, daß sich der Querschnitt der Schaufelkanäle vom Eintritt bis zum Austritt stetig verengert. Zu diesem Ende soll die axiale Abmessung innerhalb der seitlichen Begrenzung des Rades nach außen wenigstens soviel oder noch mehr abnehmen, als dies zur Ausgleichung der wegen der Radialstellung nach außen zunehmenden tangentiellen Abmessung erforderlich wäre. Jede weitere künstliche Vorrichtung, die Flüssigkeit zur Einschlagung dieses oder jenen Weges zu zwingen, könnte nur vom Übel sein.

Für Turbinen ist die geeignetste Leitlinie der Schaufel der Kreisbogen, für das Schleuderrad die radial gestellte Gerade.

Auch zu dieser einfachen Erkenntnis bin ich nicht ohne Lehrgeld gelangt. Das deutsche Reichspatent Nr. 7339 vom 22. August 1878 über „Neuerungen an Turbinen, Zentrifugalpumpen und Ventilatoren" gibt Zeugnis von den Irrwegen, die ich zu durchwandeln hatte. Die mangelhafte Beurteilung des wesentlichen Unterschiedes, der zwischen Turbinen und Schleuderrädern besteht, hat mich zu unzulässigen Schlüssen geführt. Im ersteren Falle ist nach Richtung und Intensität die Eintrittsgeschwindigkeit der Flüssigkeit gegeben und deren lebendige Kraft auf einen in Umdrehung begriffenen festen Körper zu übertragen, während im letzteren Falle der in Umdrehung befindliche feste Körper der Träger der mechanischen Arbeit ist, die zur Bewegung der Flüssigkeit verwendet werden soll. Im ersteren Falle geschieht die Arbeitsübertragung durch die der Flüssigkeit aufgenötigte negative Beschleunigung. Von der anfänglichen größten bis zur kleinsten Endgeschwindigkeit bleibt die Flüssigkeit in Berührung mit dem Körper, auf welchen sie während dessen Bewegung Druck ausübt und dadurch mechanische Arbeit überträgt. Im letzteren Falle findet die Berührung zwischen dem festen Körper und der Flüssigkeit nur während der letzten Periode der der Flüssigkeit aufgezwungenen Beschleunigung statt. Der Anfang der Beschleunigung vom Zustand der Ruhe bis zu jener Geschwindigkeit, welche die Flüssigkeit an der Stelle einnimmt, wo sie mit dem festen Körper in Berührung tritt, wird, wie eben gezeigt, nicht durch Körperdruck, sondern durch Ansaugen, das ist durch Ausnützen des in der Flüssigkeit vorhandenen Pressungs-

druckes hergestellt. Dies ist der wesentliche Grund, warum sich der Vorgang nicht einfach umkehren läßt. Ohne die richtige Erkenntnis dieser wesentlichen Verschiedenheit der beiden Arten von Arbeitsübertragung meinte ich, es müsse der bekannte Satz: „Die relative Geschwindigkeit des an einer krummen Linie hingleitenden materiellen Punktes bleibt, wenn keine Kraft auf denselben einwirkt, dessen Entfernung von einer Axe proportional, um welche sich die krumme Linie in Drehung befindet", wie beim Turbinenbau so auch bei der Herstellung von Schleuderrädern maßgebend sein. Dadurch bin ich zu dem Irrtum gelangt, daß wenn die Krümmung der (nach Rittinger) nach außen radial endenden Schaufel noch weiter fortgesetzt würde, so daß die Schaufel in Vorwärtskrümmung, soweit es der Austritt der Flüssigkeit gestattet, annähend tangentiell endet, somit die Schaufel im ganzen nahezu halbkreisförmig gekrümmt ausfällt, der austretenden Flüssigkeit die nahezu doppelte Geschwindigkeit des Radumfanges erteilt werden könne. Bei der Turbine trifft dies zu. Es ist dies der Grundgedanke der Girardturbine. Abgesehen von der wegen Ein- und Austritt der Flüssigkeit beiderseitig erforderlichen Verkürzung des Halbkreises beträgt die Umfangsgeschwindigkeit des Rades nur die Hälfte der Geschwindigkeit des einströmmenden Wassers und es würde, wenn nicht für den Austritt zu sorgen wäre, während des Weges über die Schaufel die absolute Geschwindigkeit des Wassers vollständig aufgezehrt.

Gänzlich übersehen habe ich, daß die Eintrittsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in das Schleuderrad nicht von dessen Form und Umlaufsgeschwindigkeit, sondern nur von der durch die Fliehkraft erzeugten Unterpressung abhängt, somit auch die auf die Austrittsgeschwindigkeit gezogenen Schlüsse unzulässig waren.

Die Nichtumkehrarbeit des Vorganges wird noch durch den Umstand besonders veranschaulicht, daß eine in der umgekehrten Richtung laufende Turbine von vorneherein undenkbar ist, während das Schleuderrad bei jedweder Schaufelkrümmung und gleichviel, ob nach links oder nach rechts in Bewegung gesetzt, die Flüssigkeit stets von der Axe weg gegen den Umfang befördert. Auch schon dieser Umstand gibt einen Anhaltspunkt dafür, daß das Maximum der Leistung dort zu suchen sei, wo durch die Schaufelkrümmung

die Umdrehungsrichtung nicht gegeben erscheint, was nur bei der rein radialen Stellung der Schaufel der Fall ist.

Interessant und lehrreich war der Hergang, daß mein Ansuchen um Patenterteilung mit dem Hinweise auf die Unrichtigkeit meiner Teorie zuerst zurückgewiesen wurde. Nach einem längeren Wechsel von Streitschriften aber ist meine Entwicklung als richtig und das Patent als zulässig erkannt worden.

Auch die Versuche, welche mit einem auf Grund meiner Auffassung hergestellten Ventilator angestellt wurden, haben ein geradezu glänzendes Resultat ergeben. Mit einem Schleuderrad von nur 320 mm Durchmesser und 20 bis 30 mm axialer Abmessung wurden durch lange Leitungen 7 große Schmiedefeuer gespeist. Dennoch habe ich zehn Jahre später erkannt, daß bei der ersten Abweisung des Patentes nicht das Patentamt, sondern ich im Unrecht war. Die Vorwärtsbiegung der Schaufeln hatte keinen Effekt, die erstaunlich große tatsächliche Leistung war nur dem Umstande zuzuschreiben, daß ich bei der Herstellung nebst der Schaufelkrümmung auch der Lagerung der Radaxe und dem Auswägen des Rades soviel Sorgfalt zugewendet hatte, daß es möglich wurde, das Rad, wenn ich mich recht entsinne, 3000 Touren in der Minute umlaufen zu lassen. Diese große Geschwindigkeit war es, aber nicht die Schaufelstellung, welche die überraschende Wirkung ergeben hatte.

---

3. Beziehungen zwischen Form und Widerstandsfähigkeit der Schraube.

Wie schon erwähnt, ist zur Herstellung des Flächendruckes, aus dem die Fortbewegung des Wasser- oder Luftfahrzeuges entspringt, nur der äußere Teil der Schraubenflügel von Belang. Die Fortsetzung nach innen dient nur zur Herstellung der Verbindung

der Nabe mit der wirksamen äußeren Hälfte des Flügels. Das ist längst bekannt, und es ist daher auch niemals versucht worden, den mittleren Teil des Schraubenkörpers in einer Weise zu gestalten, die die Wirkung der Schraube noch erhöhen würde. Es handelt sich immer nur darum, mit wenig Material möglichst große Widerstandsfähigkeit zu erreichen. Bei der zwar nicht in der Länge der Schaufel, dagegen im Gewicht beengten Luftschraube, ist man, wie ab und zu aus bildlichen Darstellungen zu ersehen war, auf den hier ganz zweckmäßigen Gedanken verfallen, die Festigkeit durch eine Art Spannwerk herzustellen. Doch läßt sich nicht verkennen, daß durch Zugstangen jeglicher Art ein störender Luftwiderstand hervorgerufen wird. Beide Zwecke, die möglichst haltbare Verbindung des äußeren Schaufelteiles mit der Nabe und die tunlichste Vermeidung alles störenden Flüssigkeitswiderstandes erreicht man durch die in dem hier angehängten Lichtdruck eines kleinen Holzmodells dargestellte Fortsetzung der Schraubenfläche bis an die Radnabe. Bei dieser Anordnung kann die Schraube sehr schwach gehalten werden, ohne die Bruchsicherheit zu beeinträchtigen. Wie es besonders aus dem Bilde 4 zu ersehen ist, ergibt diese Konstruktion eine fast regelrechte Verspreizung des äußeren Flügelteiles und durch die in den Bildern 1 und 3 veranschaulichte allseitige, keine abwickelbaren Flächenteile enthaltende Wölbung wird die Steifigkeit noch wesentlich vermehrt. Die beiden Flügel in einem Stück mit der Nabe aus Stahl gepreßt oder auch in zäher Bronze gegossen, wird man mit sehr geringer Materialstärke das Auslangen finden und insbesondere bei Luftschrauben, wo nicht wie bei Schiffsschrauben auch die Möglichkeit des Anschlagens an im Wasser schwimmende Holzstücke oder Haifische in Anschlag zu bringen ist, das messerscharfe Auslaufen der Vorder- und Hinterkante leicht ausführen und dadurch den sogenannten Stirnwiderstand nahezu gänzlich beseitigen können.

Bei ausnahmslos allen Schiffsschrauben und bei Luftschrauben mit starker Steigung wird es zur Herstellung der Festigkeit genügen, wenn die Wurzel des Flügels nach der regelrechten ungewölbten Schraubenfläche mit der der wirklichen Schiffsgeschwindigkeit entsprechenden Steigung geformt von der Nabe ausläuft. Dies bringt den Vorteil, daß der Flügel zunächst der Nabe, wo er für die

Arbeit nutzlos ist, auch keinen schädlichen Flüssigkeitswiderstand erzeugt. Während bei jeder anderen Art der Verbindung des nutzbringenden Teils der Schaufel mit der Nabe diese nachteilige Wirkung unausbleiblich ist, wird die nach der Schiffsgeschwindigkeit berechnete Schraubenfläche widerstandlos durch die Flüssigkeit hingleiten. Die Abbildung zeigt eine nach diesem Grundsatz geformte Schraube. In der auf die Flüssigkeit drückenden hinteren Fläche des Flügels ist sowohl an der Wurzel als nächst der in die Flüssigkeit einschneidenden Vorderkante auch bis an das äußere Ende die der Schiffsgeschwindigkeit entsprechende Steigung eingehalten. Die Abwicklung des am äußeren Ende der Schaufel der Schraubenfläche als Leitlinie dienenden, gegen die Hinterkante zu aufsteigenden Kreisbogens, wie er im Bild 2 ersichtlich ist, verflacht sich gegen die Nabe zu bis zur Geraden. Es läßt sich also die Form des Flügels am anschaulichsten dadurch versinnlichen, daß, von einer regelrechten, in der Steigung der wirklichen Schiffsgeschwindigkeit entsprechenden Schraubenfläche ausgehend, die ganze Vorderkante und ebenso der Ansatz an die Nabe unverändert bleibt, dagegen was sich dem äußern Ende der Hinterkante nähert, stetig aufgebogen erscheint. Die Formgebung ist am deutlichsten aus Bild 5 des Lichtdrucks zu ersehen. Da das Modell, um die beabsichtigte Krümmung genau herzustellen, aus einzelnen gleich starken Brettchen zusammengesetzt wurde, ergeben sich die Fugen des fertigen Modells als die Schnitte der krummen Fläche mit gleichweit von einander entfernten zur Drehungsaxe senkrechten Ebenen, und die Verringerung der gegenseitigen Entfernung dieser Schnittlinien zeigt die Zunahme der Steigung von der (auf der beleuchteten Seite des Bildes 5 zuoberst liegenden) Vorderkante des Flügels aus gegen die (im Bilde zuunterst liegende) Hinterkante zu.

Der große Vorteil, welchen diese gegenüber jeder anderen Anordnung gewährt, wird an Hand des fertigen Modells noch anschaulicher als durch die rein dinamische Betrachtung. Durch die Aufbiegung wird bei der Umdrehung der Schraube der Flüssigkeit, und zwar von Null beginnend und stetig zunehmend jene Eigenbewegung erteilt, ohne welche der Flüssigkeitsdruck nicht entstehen kann. Infolge der gleichmäßigen Zunahme ist aber zur Erzeugung

des gleichen Drucks weitaus geringere Eigenbewegung der Flüssigkeit erforderlich als dort, wo die Bewegung so heftig sein muß, um auch bei dem geringen Ausmaß der Fläche, auf welche bei den bisherigen Schiffsschrauben nennenswerter Druck ausgeübt wird, die zur Fortbewegung des Fahrzeugs erforderliche Gesammtwirkung zu erzielen. Ein gegen die matematische Schraubenfläche erhaben gewölbter Flügel, wie es bei gleichmäßiger Verteilung der Materialstärke vor und hinter die ideelle Schraubenfläche eintreten muß, kann nur zunächst der Vorderkante des Flügels der Flüssigkeit unmittelbare Beschleunigung aufzwingen. Die Beschleunigung tritt hier so gewaltsam auf, daß dadurch weit mehr, als dies erforderlich wäre, anliegende Flüssigkeitsschichten in Mitleidenschaft gezogen werden. Das gewaltige Aufschäumen des Wassers hinter der Schraube, von dem für die Fortbewegung des Schiffes nur ein verhältnismäßig geringer Theil nutzbar geworden ist, wird durch die entsprechendere Gestalt des Flügels wesentlich verringert werden. Die mechanische Arbeit, welche bisher auf nutzlose Flüssigkeitsbewegung aufgewendet wurde, wird zum größten Teil entfallen; der ungerechtfertigte Teil des Rückbleibs wird vermieden; man wird bei geringerem Kohlenaufwand größere Fahrgeschwindigkeit erzielen.

Mit den vielperzentigen Ersparnissen, die, wenn man zusammenzälte, was jeder „Erfindung" nachgerühmt wird, das Dampfschiff schon zum Kohlenbergwerk umgestaltet hätte, will sich die hier angeregte kleine Formänderung nicht messen. Wo kein „Geschäft" geplant ist, bedarf es auch keiner Ersparnisberechnung. Dem Techniker wird auch die Erkenntnis des teoretischen und praktischen Fortschritts an sich genügen, um sich die kleine Mühe des Ueberprüfens der Herleitung nicht verdrießen zu lassen und, wenn er zustimmen muß, nicht wissentlich bei dem Unvollkommenen zu verharren.

Einen weiteren kleinen Schritt auf dem Wege zur praktischen Ausführung muß ich mir leider versagen. Solange auch mein Luftschraubenflügel (auf dem Papier) noch mit in die Nabe eingekeiltem Stiel konstruirt und durch Zugstangen versteift war, ist mir auch die Berechnung des für eine verlangte Leistung erforderlichen Gewichts des Flügels noch zugänglich gewesen, aber zur Feststellung

der zur Bestimmung der Tragfähigkeit nötigen Trägheitsmomente der einzelnen Querschnitte dieser vielfach gewundenen Körperform reicht mein teoretisches Können nicht mehr aus. Dennoch gestattet schon der Vergleich mit einer aus gepreßtem Stahlblech hergestellten Kohlen- oder Erdschaufel neuerer Form den Schluß, daß auch in dem vorliegenden Falle mit auffallend geringem Materialaufwand das Auslangen gefunden werden wird. Berücksichtigt man noch, daß die Schaufel nicht nur vermöge der zweckmäßigeren Befestigung weit schwächer, sondern überdies noch wegen der besseren Ausnützung der Druckfläche auch etwas schmäler gehalten werden kann, so dürfte wohl die Annahme, daß eine nach der hier entwickelten Anordnung hergestellte Schiffsschraube bei gleicher Sicherheit nicht viel über die Hälfte des bisher üblichen Gewichtes erreichen werde, kaum übertrieben erscheinen.

Bemerkt sei noch, daß es sich für Luftschiffsschrauben empfehlen wird, die Enden der beiden Flügel, wie sie sich in Bild 5 darstellen, um einen an die Vorder- und Hinterkante anschließenden Kreisabschnitt zu verlängern, weil gerade diese annähernd halbkreisförmige Fortsetzung im Verhältnis zur großen Wirksamkeit das mindeste Eigengewicht zeigt. Das im Lichtdruck gezeigte Modell soll an einer Luftbewegungsvorrichtung Verwendung finden, bei welcher die im zilindrischen Gehäuse laufende Schraube nach außen ebenfalls zilindrisch begrenzt sein muß. Aber auch bei den Schrauben, welche die Fortbewegung des Körpers zu bewerkstelligen haben, in dem sie gelagert sind, ist die Abrundung nach außen nicht notwendig, da die zilindrische Abschlußfläche unter allen Umständen an der Flüssigkeit drucklos hingleitet und daher an dieser Stelle die messerscharfe Auskantung nicht von Wesenheit ist. Für Schiffsschrauben, bei welchen das Gewicht von minderem Belang, dagegen die Länge des Flügels unüberschreitbar begrenzt ist, wäre es also verfehlt, den Flügel gerade an der wirksamsten Stelle, am äußeren Rande in der Breite zu beeinträchtigen, wo doch durch die Formung des übrigen Teiles des Flügels für die erforderliche Steifigkeit der äußeren Ecken gesorgt ist.

Für die bildliche Darstellung ist gerade diese Art der Flüssigkeitsschraube besonders geeignet, weil hier der Querschnitt des Flügels

auch ohne Konstruktionszeichnung ersichtlich ist, und zwar in Bild 2, in rechtwinkliger, in Bild 1 und 3 in schräger Ansicht. Die im Verhältnis zur Größe der Schraube eingehaltene Materialstärke, die bei der Herstellung des Holzmodells nicht gut noch weiter herabgemindert werden konnte, dürfte, wenn in zähem Metall hergestellt, bei Schiffsschrauben ziemlich unverändert anzuwenden sein, wogegen für Luftschrauben gewissenhafte Berechnung verbunden mit allmäliger Erprobung in der Wirklichkeit ganz wesentliche Verminderung der Materialstärke ergeben wird. Soweit es möglich bleibt, die Stetigkeit der Krümmung und der Verstärkung gegen den Mittelradius des Flügels einzuhalten, wird auch die Verminderung der Stärke des äußeren Teiles des Flügels zulässig sein. Die Stärke des Sensenblattes mag als Vorbild dienen. Selbst gegen die Nabe zu wird bei der durch die Form gegebenen Tragfähigkeit mit sehr mäßiger Materialverstärkung das Auslangen gefunden werden.

---

4. Die Kanalschiffs-Luftschraube.

Die der rechnungsmäßig vorteilhaftesten auch in der Wirklichkeit nahekommende Luftschraube, lange schmale, nur ganz sanft gewölbte Flügel mit minimaler Durchschnittssteigung, wird jedenfalls bei der Kanalschiffs-Luftschraube in der größten Vollendung hergestellt werden können. Schon wegen der Schonung der Kanalufer sollte ein Kanalschiff die Geschwindigkeit von 2 $\frac{m}{sek}$ nicht überschreiten. Bei einer Drehungsgeschwindigkeit von nur 300 Umdrehungen in der Minute müßte also die der Schiffsgeschwindigkeit entsprechende Steigung, das ist jene, welche die gekrümmte Schraubenfläche an der Vorderkante des Flügels zeigt, 0,4 m für die ganze Umdrehung und, wenn ein Schraubenflügel in der Breite von $^1/_{20}$ des Kreisumfanges hergestellt wird, über die Flügelbreite 20 mm, bei einer

Aufbiegung von weiteren 10 bis 20 mm die Durchschnittssteigung des einzelnen Flügels 30—40 mm betragen. Bei einem Schraubendurchmesser von 5 m, also einer Flügellänge von 2,5 m beträgt die äußere Breite des Flügels mit $^1/_{20}$ des Umfanges beiläufig 0,8 m. Es kann wohl nicht schwer halten, auch bei diesen Abmessungen bei der Formgebung so genau vorzugehen, daß sowohl der rechnungsmäßig erforderliche Einfallswinkel als auch die Aufbiegung bei der Ausführung hinlänglich genau eingehalten wird, um den richtigen Flügeldruck zu gewährleisten.

Um einem so langen und schmalen Flügel, der so hohem Druck zu widerstehen hat, trotz der geringen Steigung dennoch ohne Materialverschwendung die erforderliche Festigkeit zu sichern, wird es sich empfehlen, im Gegensatze zur Wasserschraube und zur Luftschraube mit großer Steigung dem Flügel an der Wurzel nicht die kleinste, sondern die größte am äußeren Ende des Flügels vorkommende, unter Umständen auch noch etwas größere Steigung zu geben. Diese Steigung an der Flügelwurzel wird dann an der Vorderkante des Flügels in sanfter Krümmung gegen das äußere Ende zu in die Anfangssteigung zu verlaufen haben. Nächst der Hinterkante wird die Fläche, wenn die Steigung an der Wurzel nicht größer angenommen wurde als die größte Steigung am äußeren Ende des Flügels, durchwegs in dieser Steigung verlaufen, andernfalls auch eine ähnliche, nur noch schwächere Krümmung als die Vorderkante aufweisen.

Veranschlagt man, nur ganz grob gerechnet, den Halbmesser des Druckmittelpunkts des Flügels mit 2 m, die wirksame Fläche eines Flügels als ein Rechteck von 0,8 und 1,5 m gedacht, mit 1,2, also die gesammte Druckfläche mit 2,4 m², so wird bei 300 Umdrehungen in der Minute der Druckmittelpunkt eine Geschwindigkeit von 60 $\frac{m}{sek}$ erreichen. Nach der Formel $\frac{P}{F} = 0{,}043\ v^2$ (S. 7) ergibt sich der Druck auf 1 m² mit 150 kg, daher auf 2,4 m² mit 360 kg, somit bei einer Vorwärtsbewegung im Sinne dieses Druckes von 2 $\frac{m}{sek}$ eine Arbeitsleistung von rund 10 PS.

Durch eine nur unbedeutende Vergrößerung des Flügels und noch keineswegs übertriebene Umdrehungszahl, das ist bei etwas über 3 m Flügellänge mit rund 2,5 m Druckmittelpunktshalbmesser und

7 Umdrehungen in der Sekunde, also 420 Umdrehungen in der Minute erhält man eine Geschwindigkeit des Druckmittelpunkts von rund $100 \frac{m}{sek}$, somit $\frac{P}{F} = 430 \frac{kg}{m^2}$, auf die in gleicher Art wie beim ersteren Beispiel veranschlagte Druckfläche der beiden Flügel von 3,8 m^2 einen Gesamtflügeldruck von rund 1600 Kilogramm, was bei der gleichen Fortbewegungsgeschwindigkeit von $2 \frac{m}{sek}$ eine reine Leistung von 45 PS darstellt.

Diese zwei Beispiele zeigen, daß zur Fortbewegung von Kanalschiffen, die ehedem durch Anspannung von ein bis vier Pferden befördert wurden, mit der gleichen Schonung der Kanalufer die richtig hergestellte Luftschraube ganz zweckdienliche Verwendung finden kann.

Eine ähnliche Ausführung im Kleinen dürfte auch für einen Ausnahmszweck als Wasserschraube Anwendung finden, nämlich bei den kleinen Hafenpropellern, die, wie ein Esel vor einen Heuwagen gespannt, die Dreimaster im Schneckengang umherzuschleppen haben. Das wäre der einzige Fall, in dem die, ob gut oder schlecht, aber einstweilen unersetzliche Schiffsschraube auch ökonomisch arbeiten würde. Wo kein Anspruch auf große Fortbewegungsgeschwindigkeit erhoben wird, rückt die Wirkung der Flüssigkeitsschraube der der Gewindeschraube weit näher. Da bei gleicher Gleitgeschwindigkeit der Druck des Wassers auf die Flächeneinheit der Schraubenschaufel, wie aus den Angaben auf Seite 7 zu ersehen ist, mehr als das 700fache des Drucks der Luft beträgt, muß die Umfangsgeschwindigkeit geringer und trotzdem die Schraube stärker gehalten werden, aber immerhin sollte es möglich sein, aus bestem Stahl gepreßte Schrauben so messerscharf auszukanten, daß bei der minimalen Steigung der Schraubenfläche dem Wasser nicht viel mehr als die nutzbringende Bewegung aufgenötigt, die kraftvergeudende fast gänzlich vermieden wird. Ob bei richtiger Ausführung der Vorteil so groß, das heißt die hinter der Schraube entstehende Wasserwelle in so hohem Maße verringert würde, um diese Schiffsschraube auch unbedenklich in künstlichen Kanälen verwenden zu können, müßte erst die Erfahrung lehren.

---

5. Das Niederdruck-Windrad.

Die Windmühle mit ihren gespensterhaft langen Armen scheint sich durch mehr als vier Jahrhunderte in ziemlich unveränderter Form erhalten zu haben, bis sie vor 20 bis 30 Jahren durch die kreisförmige Scheibe mit den kleinen verstellbaren Brettchen ersetzt wurde. Der umgekehrte Hergang in der Vervollkommnung hat sich bei der Vorrichtung, welche nicht, dem Wesen nach eine Turbine, die Kraft des Windes auszunützen bestimmt ist, sondern mäßige Luftbewegung zu erzeugen hat, somit wie die Schiffsschraube wirkt, bis jetzt meines Wissens wenigstens noch nicht eingestellt. Der sogenannte Schraubenventilator pflegt, wenn auch der geringeren Axialabmessung halber in mehrere Sektoren zerteilt, doch mit der Ausdehnung über die gesamte Kreisfläche hergestellt zu werden. Auch hier fehlt es an der richtigen Unterscheidung des Eingreifens der Schraube in feste und flüssige Körper. Der Zweck, innerhalb kleiner Pressungsverschiedenheit Luftbewegung zu erzeugen, wird zwar auch auf die alte Weise erreicht, aber nicht, ohne unbeabsichtigte große Luftbewirbelungen hervorzubringen und die auf diese nutzlose drehende Bewegung der Luft aufzuwendende mechanische Arbeit zu vergeuden.

Durch die Anwendung von zwei langen schmalen Flügeln mit möglichst geringer Steigerung läßt sich der Uebelstand fast gänzlich beheben.

Am anschaulichsten wird dies durch die Vergleichung der Verrichtung, welche den Schraubenflügeln obliegt, mit der Art der Arbeitsübertragung eines Uhrgewichtes auf das Pendel der Uhr. Der Antrieb des Pendels durch das unter der Belastung des Gewichtes stehende Steigrad vollzieht sich nicht stetig. Während des größten Theiles einer Pendelschwingung erleidet das Pendel vermöge der Reibung eine Verzögerung seines regelrechten Laufes, und nur während eines ganz kurzen Teiles der Schwingung wird durch das Eingreifen des Steigrades der Pendelbewegung jene Beschleu-

nigung erteilt, durch welche die aus der Reibung herrührende Verzögerung wieder aufgewogen wird.

Aehnlich wirkt auch, den Beharrungszustand ins Auge gefaßt, auf die bewegte Luft die Berührung mit den beiden Schaufeln des Rades. Wenn man sich die im zilindrischen Gehäuse dem Rade zufließende Luft in einzelne der Axe parallele Fäden zerlegt denkt, wird jedem solchen Faden während einer Radumdrehung zweimal eine Beschleunigung seiner axialen Bewegung aufgenötigt, die vermöge der Elastizität der Luft nach vorne schiebend und hinten ansaugend den ganzen elastischen Faden in ebenso nahezu gleichmäßiger Bewegung erhält, als dies beim Uhrenpendel trotz des regelmäßigen Wechsels von Verzögerung und Beschleunigung scheinbar der Fall ist. Bei dem kleinen Winkel, welchen vermöge der geringen Steigung die Schraubenfläche mit einer auf den Luftfaden senkrechten Ebene einschließt, wird die tangentielle Komponente des Druckes so klein, daß aus derselben wesentliches Kreisen der Luftteilchen nicht entstehen kann. Bei messerscharfer Auskantung und glatter Polirung des Flügels, wird auch vermöge dessen geringer Breite die Flächenreibung nur wenig schädlichen Effekt verursachen. Diese Schädlichkeit läßt sich zwar nicht gänzlich vermeiden, weil die Luftteilchen sich nicht genau in einer der Axe parallelen Geraden, sondern ebenfalls in Schraubenlinien fortbewegen, aber doch in so steiler Schraubenlinie, daß deren einzelne Elemente von der Parallelen mit der Axe nur wenig abweichen, während bei der bisherigen Anordnung die ebenfalls in Schraubenlinien vor sich gehende Luftbewegung wegen der über die ganze Kreisfläche wirkenden Flächenreibung und wegen der vermöge der hohen Steigung der Schraubenfläche namhaften tangentiellen Komponente des Flächendrucks nicht wesentlich größere Steigung aufweisen kann als die Schraube selbst. Die Ersparnis an aufzuwendender mechanischer Arbeit dürfte der Abkürzung des Weges, welche die einzelnen Luftteilchen erfahren, annähernd proportional sein.

3. Das lenkbare Luftschiff.

Abgesehen von Kinderspielzeugen, Modellen der Aviatiker und einzelnen, wie es scheint, bisher noch nicht recht gelungenen Versuchen mit der Beförderung von Kanalschiffen hat die Luftschraube bisher nur für die Lenkbarmachung des Luftballons ernstliche Anwendung gefunden. Dies wird wohl auch auf lange Zeit hinaus das Gebiet bleiben, auf dem die Luftschraube durch keine andere Vorrichtung zweckdienlich ersetzt werden könnte.

Aus dem bisher ungenügenden Erfolge allein läßt sich auf die fehlerhafte Gestaltung der Schraube kein Schluß ziehen, da der Hauptgrund, daß es noch nicht gelungen ist, dem Ballon jene Geschwindigkeit zu erteilen, die ihn auch zur Ueberwindung stärkeren Windes befähigte, nicht allein im Antriebe, sondern vorzugsweise in den unzulässigen Abmessungen des Ballons zu suchen ist. Ein kleiner Ballon wird auch mit der besten Bewegungsvorrichtung nicht zu großer Geschwindigkeit gebracht werden können, aber mit der Vergrößerung des Flugkörpers wächst bei richtiger Antriebsart die erreichbare Geschwindigkeit fast ins Ungemessene. Nach dieser Richtung hat die großartig angelegte Unternehmung des Grafen Zeppelin den ersten Schritt getan, der zweifellos den lange gehegten Wunsch der technischen und nichttechnischen Welt, nicht nur auf festem Boden, sondern auch im blauen Aeter an Schnelligkeit und Ausdauer alles zu überbieten, was die Natur an Lebewesen hervorgerufen hat, auf alle Fälle angebahnt haben wird. Schon heute kann als sicher angenommen werden, daß der einstweilen in den Wellen des Bodensee's verankerte Ballon von 125 m Länge und 12 m Durchmesser vielleicht nicht übergroße, aber doch bisher

noch nicht erreichte Geschwindigkeit der Fortbewegung ermöglichen wird.

Allseitig läßt sich noch nicht bestimmt urteilen, da die einzig beglaubigte Mitteilung über die sonst so peinlich geheim gehaltene Herstellung des Riesen-Luftschiffes, die in der Nr. vom 1. Oktober 1899 der illustrirten Zeitschrift „Ueber Land und Meer" erschienene Abbildung und Beschreibung sich, besonders was die Antriebsvorrichtung betrifft, auf die knappsten Andeutungen beschränkt. Der Verfasser dieser anmutigen Schilderung ist offenbar mehr Belletrist als Techniker, weil er sonst z. B., was ihm über die Nebenvorteile der äußeren Umhüllung des Ballons genannt wurde, den Schutz gegen Regen und Sonnenstrahlen, nicht als deren Hauptzweck hingestellt haben könnte. Ohne diese glättende Oberhaut müßte der durch die 16 Metallrippen verursachte Luftwiderstand ein Hindernis bieten, das den Vorteil der großen Abmessungen leicht aufheben könnte. Immerhin aber läßt sich auch jetzt schon nach gewissen Richtungen die zweifellose Richtigkeit des Prinzips erkennen, nach anderen mit Bestimmtheit vorhersagen, daß noch manches wesentlich anders angefaßt werden muß, um dem Erreichbaren nahezukommen.

Ueber die technische Aufgabe der Lenkbarmachung des Luftschiffes schrieb ich zuerst in der „Ostdeutschen Rundschau" vom 5. Juli 1896, wiedergegeben in der Zusammenfassung „Das Fliegen", Hermann Kerber, Salzburg 1899, S. 14:

> Die praktische Verwertung dieses allgemeinen Prinzips mag wohl in der verschiedenartigsten Weise erreicht werden können. Wenn auch die Einen bei der bisher üblichen sogenannten Zigarrenform des lenkbaren Ballons verbleiben und die Vorwärtsbewegung durch die an horizontaller Axe sich bewegende Schraube bewirken, während andere bestrebt sind, auch mit dem lenkbaren Luftballon soweit als tunlich den Segelflug des Vogels nachzuahmen, soll weder der einen noch der anderen Richtung der Erfolg abgesprochen werden. Die folgende Beschreibung mag also nur als vereinzeltes Beispiel von dem angesehen werden, was als „lenkbares Luftschiff" nicht von vornherein unmöglich ist. Den Ballonkörper denke man sich als Ellipsoidensegment, etwa in der Form

eines ovalen Brotlaibes mit ebener Unterfläche, an welchem, wie bisher bei allen Ballons, ein zur Aufnahme der Personen geeigneter Korb hängt. Zwischen diesem und dem Ballon ist eine an senkrechter Axe wirkende, aus zwei langen schmalen Flügeln bestehende Luftschraube mit tunlichst geringer Steigung der Schraubenfläche angebracht, und zwischen derselben und dem Korbe der Motor. Nimmt man an, daß, nur beispielsweise gesprochen, für eine Reisegesellschaft von drei bis vier Mann das Gewicht des Motors sammt Flügeln etwa 400 Kilogramm betrage, so dürfte es gelingen, der Luftschraube eine Hebekraft von nahezu 300 Kilogramm zu verleihen. Wird nun dem Ballon der Rauminhalt gegeben, welcher erforderlich ist, um seine eigene Hülle sammt Versteifung, den Korb sammt Insassen und überdies noch etwa die Hälfte des Flügel- und Motorengewichtes zu tragen, so wird, sobald die Schraube in Bewegung gesetzt wird, der Ballon langsam aufsteigen, aber sofort wieder sinken, wenn die Bewegung aufhört. Dieses Auf- und Niedersteigen ist es, welches, die Unterfläche des Ballons als Drachensegel gedacht, die Vorwärtsbewegung herbeiführt. Durch die abwechselnde Ingangsetzung und Abstellung der Schraube mit entsprechender Schrägstellung der Segelfläche wird dasselbe bewirkt, was bei den großen Vögeln die einzelnen Flügelschläge bedeuten. Als größte Schwierigkeit in der Herstellung eines solchen Apparates muß die vorerwähnte Versteifung der Segelfläche angesehen werden. Aber auch vor dieser Konstruktionsaufgabe braucht man nach den Erfolgen, welche in den letzten Jahren in der Vervollkommnung zum Beispiel des Fahrrades erzielt worden sind, nicht mehr zurückzuschrecken. Die Herstellung des die scharfe Kante des Ballons schützenden ovalen Ringes, auch wenn er in der Größe von etwa 15 und 20 Meter in den beiden Durchmessern gedacht wird, bietet mit den in der Fahrradindustrie in Verwendung kommenden Stahlrohren von nur 0,7 Millimeter Wandstärke bei 25 Millimeter Durchmesser keine Schwierigkeit mehr. Das Gewicht eines aus solchem Material hergestellten Ringes, wieder teilweise nach dem Vorbilde des Fahrrades, durch ein gespanntes Drahtseil- oder richtiger Drahtzwirnnetz versteift, verliert seine Bedenklichkeit,

wenn man sich vergegenwärtigt, daß bei Stahldraht schon eine Zugfestigkeit von 250 Kilogramm auf den Quadratmillimeter erreicht wird. Eine weitere, aber auch nur scheinbare Schwierigkeit besteht in der Verbindung dieser Versteifung mit der Ballonhülle. Dasselbe Drahtnetz, welches die Formveränderung des Ringes verhindert, hat gleichzeitig als Stütze der großen Segelfläche zu dienen, und darf daher nicht unterhalb dieser, sondern muß oberhalb derselben, also innerhalb der Ballonhülle angebracht werden. Es gewinnt zwar für den ersten Augenblick den Anschein, als ob, was gänzlich unausführbar wäre, die Hülle erst nach Einsetzung des Riesenreifens geschlossen werden könnte; dem ist aber nicht so. Die Ballonhülle wird wie bisher in der richtigen Form fertig hergestellt, nur wird der Füllansatz nicht wie bei den kugelförmigen Ballons nach unten, sondern nach hinten verlegt. Die Dimension des Ballons ergibt es von selbst, daß dieser Füllschlauch nicht enger sein kann, als etwa das Mannloch eines Dampfkessels. Durch diesen Füllschlauch können, wenn die leere Hülle auf einer ebenen Fläche niedergelegt und mit Luft aufgeblasen wird, die Arbeiter einschliefen, den in einzelne Stücke von drei bis vier Meter Länge zerlegten Ring ebenso wie das zusammengefaltete Drahtzwirnnetz einziehen und innerhalb des Ballons mittels der an den Enden der Rohrstücke wie bei Fernrohren aufgelöteten Kuppelgewinden in die richtige Lage bringen. Das Drahtzwirnnetz, und mit demselben der untere Teil der Hülle, wird vermöge der Elastizität des Materials bei der Abwärtsbewegung des Ballons die für das Segeln geeignetste, flache Einwölbung erhalten. Die Zerreißungsfestigkeit der Hülle wird bei dieser Herstellungsart auch bei den größten Dimensionen kaum nennenswert in Anspruch genommen. Die Sicherheit gegen Unfälle ist größer als bei irgendwelcher der bisherigen Ballonformen, da auch im Falle des Zerreißens des Ballons nicht erst nach einem Fallschirm gegriffen zu werden braucht, sondern derselbe schon von vornherein in der denkbar größten Dimension vorhanden ist.

Wenn man nicht um jeden Preis „erfinden“ will, sondern die Aufgabe der Lenkbarmachung des Luftschiffes nicht anders

auffaßt, als die Erbauung einer eisernen Brücke von bisher noch nicht erprobter Spannweite oder etwa die schon vollbrachte Herstellung des Aussichtsturmes in der Chicagoer-Ausstellung, der den Eiffelturm um ein Mehrfaches übertroffen hat, das heißt, wenn man sich nur das emsige Rechnen und wiederholte Nachrechnen unter nach und nach immer zweckdienlicheren Annahmen nicht verdrießen läßt, werden auch die dem lenkbaren Luftschiff bisher im Wege gestandenen Unvollkommenheiten mit Leichtigkeit zu überbrücken sein.

Daß jemals das Luftschiff die Bedeutung eines bürgerlichen Verkehrsmittels erreichen wird, ist wohl nicht anzunehmen; aber nicht nur für militärische, sondern in erster Linie für wissenschaftliche Zwecke kann ein richtig konstruirter Fliegeballon das bisher Erreichte ganz wesentlich übersteigen.

Was die Form und Herstellung des Ballons betrifft, streiche ich die Segel vor Graf Zeppelins gewaltiger Erfassung der Aufgabe. Bei solchen Riesenabmessungen, die, was ich mir vorgestellt habe, um das sechsfache übersteigen, wäre es nicht gut denkbar, mit einer anderen Form als der zilindrischen die Widerstandsfähigkeit des Ballonkörpers herzustellen. Gerade diese Abmessungen aber sind es auch, welche den Vorteil, den eine sanft nach innen gewölbte Segelfläche gegen die Zilinderform aufweist, reichlich überwiegen dürften. Auch wenn mein Vorschlag sich als ausführbar erweisen sollte, könnte das Ding sich zu Graf Zeppelins Riesenluftschiff doch bestenfalls wie eine nur im Verhältnis zu einem Ruderboot „pfeilschnell“ dahinfahrende zierliche Dampfbarkasse zu einem Ozeandampfer verhalten, der das atlantische Meer in fünf Tagen durchmißt.

Anders steht es mit den Antriebsvorrichtungen, die nach der vorgenannten Beschreibung bei Graf Zeppelins Luftschiff geplant sind. Die vier Luftschrauben mit wagrechter Drehungsaxe sind verfehlt — zum mindesten ebenso verfehlt, als wenn man im tiefen Schnee mit Wagenrädern fahren wollte, statt mit Schlittenkufen. Beim Wasserschiff gibt es keine Wahl, die Schaufelräder haben sich unverwendbar erwiesen, ein über den Ozean gespanntes Zugseil ist ebenso untunlich als Adhäsionsräder — da gab es keinen anderen

Ausweg, da war man gezwungen zur Schraube zu greifen, wiewohl man zugeben muß, daß die Schraube nur bei langsamer Fortbewegung günstig zu arbeiten vermag und daß, wenn sie anwendbar wären, das Zugseil oder das Adhäsionsrad bei demselben Aufwand von mechanischer Arbeit weit größere Geschwindigkeit ergeben müßten. In der freien Luft aber, die das Hingleiten vermöge der eigenen Schwere gestattet, hat es keinen Sinn, Benzin oder Kohlen auf die Erzeugung kreisender Luftwellen zu vergeuden und sich obendrein auf die durch die Schraube bedingte Langsamkeit des Fluges zu beschränken.

Mit der Anwendung der wagrecht gelagerten Luftschraube als Fortbewegungsmittel haben die Aviatiker das technische Denken selbst ihrer Gegner auf Irrwege geleitet. Weil es dem großen Maxim gelungen ist, durch wagrecht wirkende Luftschrauben, seinem in den größten Abmessungen hergestellten Drachensegler eine Geschwindigkeit zu verleihen, die genügte, vermöge der Schrägstellung der Segel eine der Schienen zu zertrümmern, die die vorzeitige Hebung verhindern sollten, weil die amerikanischen Flugmeister, die Professoren Langley und Herring, ersterer bei seinen Modellen mit der durch die Luftschraube eingeleiteten Vorwärtsbewegung vorübergehend wirklich steigende Luftbahn erzielt hat, und Herring besser geflogen ist als der verunglückte Lilienthal, meinte man, müße dieselbe Vorrichtung auch für die Vorwärtsbewegung des schlanken Riesenvogels genügen. Alle diese durch Fehlschlüsse eingeleiteten Versuche, deren teilweiser Erfolg nur zufälligen, auf die Dauer nicht festzuhaltenden Nebenumständen zu verdanken ist, bieten keine Aussicht auf das Gelingen weiterer Nachahmung. Auch hier hat es wie bei allen aviatischen Bestrebungen an der Folgerichtigkeit der Schlüsse gefehlt. Der unwiderstehliche Drang, das Fliegen zu erlernen, verbunden mit dem richtigen Gefühl, daß die Aufgabe nicht unlösbar sei, hat selbst die klarsten Köpfe dazu geführt, statt nüchtern auf dem fortzubauen, was schon vorher wissenschaftlich unwiderlegbar festgestellt war, ihre Voraussetzungen den erstrebten Zielen anzupassen.

Der Fehlschluß, dem alle aviatischen Bestrebungen ihre Entstehung verdanken, besteht darin, daß man meinte, weil der durch

den Ballon erzeugte Luftwiderstand der raschen Fortbewegung ein unübersteigliches Hindernis entgegensetzt, muß das Fliegen der Menschen auf anderem Wege möglich gemacht werden. Nach Verlauf einiger Jahrzehnte, nachdem alle Versuche, künstliche Flügel herzustellen, vergeblich waren, und man endlich auch zur Ueberzeugung kam, daß selbst die beste Hebevorrichtung, die Hebeschraube, nicht einmal ihr Eigengewicht einschließlich des Motors zu tragen vermöge, hat man abermals gesagt: weil die direkte Hebung nicht möglich ist, muß sie auf Umwegen erzielt werden. Nur diese den mittelalterlichern Erfindern des perpetuum mobile so nahe verwandte Denkungsweise hat den, wenn das „wenn“ und das „aber“ nicht wäre, so vielversprechenden „Drachenflieger“ gezeugt. Immer und immer hat man wieder übersehen, daß die Herstellung der wagrechten Geschwindigkeit, durch welche mittels des Drachensegels die Hebung erfolgen könnte, einen noch größeren Arbeitsaufwand erfordert als die direkte Hebung selbst.

Die denkbar beste und zuverlässigste Segelfläche, bei der ohne Ueberwindung besonderer technischen Schwierigkeiten die größte Gleitgeschwindigkeit hergestellt werden kann; die keinem Schwanken durch unerwartete Windwirbel ausgesetzt ist; bei der die Neigung gegen die wagrechte Stellung fast bis auf ein Hundertstel zuverlässig und unverrückbar eingehalten werden kann; die auch bei weniger als ein Zwanzigstel betragender Steigung noch die zur gleichmäßigen Beschleunigung der Luft erforderliche Wölbung ermöglicht — ist und bleibt der lange, schmale, kaum geneigte und sanft gewölbte Flügel einer an senkrechter Axe wirkenden Schraube. Ausgiebigere und unter allen Umständen zuverlässigere Hebung als durch die Hebeschraube ist von vorneherein undenkbar.

Die Wirkung einer wagrecht gelagerten Antriebsschraube mit großer Steigung ist kaum ökonomischer als die in Gebirgsgegenden ab und zu noch vorfindlichen kleinen Mühlenräder, auf die das Wasser oft mehrere Meter hoch herunterstürzt, von der lebendigen Kraft aber, die es durch den Fall erlangt, nur einen verhältnismäßig geringen Teil auf die kleine Radschaufel zu übertragen vermag. Die Luftschraube mit schwacher Steigung dagegen ist der wohl-

konstruirten Turbine zu vergleichen, durch welche, wenn nur richtig gerechnet wurde, das Gefälle eines halben Meter ebenso zuverlässig ausgenützt werden kann als die Druckhöhe von hundert Meter. Es hat also keinen Sinn, die vom Motor abgegebene mechanische Arbeit zunächst durch die unvollkommene Fortpflanzungsvorrichtung hindurchzuleiten und erst mit der auf diese Weise erreichten Geschwindigkeit durch große, in ihrer Neigung aber unkontrolirbare, schon durch die schwächsten widrigen Winde aus der Stellung gebrachten Segelflächen zur Hebung verwenden zu wollen. Was durch diesen verwickelten Vorgang dennoch gehoben werden kann, wird sicher kaum die Hälfte dessen betragen, was die an senkrechter Axe wirkende gut konstruirte Hebeschraube zu leisten vermag.

Die Frage, wie dann die vorgenannten Erfolge Maxims und Langleys dennoch möglich geworden seien, läßt sich nicht entscheiden, wenn nicht alle Nebenumstände, unter welchen die Versuche abgeführt wurden, genau bekannt sind. Aber sicher hat es keinen Sinn, solange andere Erklärung noch nicht vorliegt, nach dem Beispiele der Okkultisten rasch zu einer vierten Dimension oder, was nicht viel besser ist, zum Glauben an noch unerforschte geheime „Hebewirkung“ oder „Tragfähigkeit“ der Luft zu greifen. Gegenüber Maxims Schienenbruch ist eine naheliegende Möglichkeit schon erörtert worden. Es wurden nicht beide, sondern nur eine der Schienen zertrümmert, welche die vorzeitige Aufwärtsbewegung verhindern sollten, und dieser Bruch braucht daher nicht durch Auftrieb, sondern kann ganz gut durch Schwanken der riesigen Segelfläche herbeigeführt worden sein. Eine andere Möglichkeit ist die, daß es Maxim und Langley mit der Erprobung ihres Flugapparates nicht anders ergangen sei als mir mit dem glänzenden Erfolge, den mein verkehrt konstruirtes Schleuderrad in Wirklichkeit erzielt hat. Es braucht nur bei Maxim und Langley die anfängliche Dampfspannung eine Höhe erreicht zu haben, die auf die Dauer einzuhalten unmöglich ist, so ist alles erklärt. Die Vorsicht, ihren Apparat nicht loszulassen, bevor nicht die volle Dampfspannung erreicht war, werden ja gewiß Beide beobachtet haben, und es liegt also nichts näher, als daß die Dampfspannung bis zum Abblasen des Ventils gesteigert

war und dann natürlich für die ersten Sekunden eine Wirkung hervorgerufen hat, die selbst die unzutreffendste Konstruktion zu decken vermochte. Professor Herring, der allerdings persönlich und auch eine Strecke aufwärts geflogen ist, hat aber nicht eine Krafterzeugungsvorrichtung, sondern nur die auf festem Boden verdichtete Luft mitgenommen und überdies nebst eines Anlaufes zur Hebung den Gegenwind ausgenutzt. Immerhin ist unter allen Aviatikern ihm in dem Sinne die Palme zuzuerkennen, daß er am wenigsten schief gedacht hat. Wenn er zwischen seine paarweise versteiften, überquer ausgespreizten Flügel statt der Schraubenaxe einen zigarrenförmigen Ballon hindurchstecken wollte, wäre das Ding einer Riesenlibelle nicht unähnlich und könnte, abgesehen von der Gefährlichkeit bei günstigem Winde als Fesselballon ein ganz nettes Spielzeug abgeben. So ganz widersinnig als das Kreß'sche Schlitten-Luftschiff, das die zum Auffliegen erforderliche Geschwindigkeit im Wasser ohne Ruder oder Schiffsschraube erreichen soll, ist Professor Herring's Flugapparat entschieden nicht. Man sehe doch zu, wie z. B. die Wildente, wenn sie vom Wasser auffliegt, durch den Flügelschlag schon teilweise gehoben, mit den gewaltigen Schwimmhäuten förmlich auf dem Wasserspiegel dahinläuft, um zum Aufflug zu gelangen. Obendrein scheint Kreß noch das Schlittenfahren ohne Schnee ersonnen zu haben.

Die Wahl der zur Fortbewegung zweckmäßigsten Vorrichtung ergibt sich aus den äußeren Umständen: bei senkrechter Hebung vom festen Boden aus das freihängende Zugseil; bei starker schrägen Steigung und mäßiger seitlichen Krümmung der Bewegungsbahn das über Leitrollen laufende Zugseil; bei mittlerer Steigung das Zahnrad; bei ebener Bahn und schwacher Steigung das Adhäsionsrad; im Wasser zur Schnellfahrt die Triebschraube; bei langsamer Fahrt gegen reißende Strömung die Kette; im ruhigen Wasser das Windrad und für den Luftballon — einstweilen — die Hebeschraube, die, periodisch arbeitend und wieder stillstehend, das abwechselnde Heben und Senken vermittelt, das zum Hingleiten auf schräger Luftbahn führt.

Auch zu weiterer Vervollkommnung findet sich in dem, was Graf Zeppelin geleistet hat, fast könnte man sagen, durch des

Zufalls Spiel schon der erste Schritt getan. Wenn es, was einstweilen noch in den Bereich der Luftschlösser verwiesen werden muß, gelingen sollte, eine Pumpvorrichtung herzustellen, die ohne den Ballon wesentlich zu belasten, imstande wäre, auch nur 100 der am Bodensee in Vorrat lagernden 2000 mit verdichtetem Wasserstoff gefüllten Flaschen während der Fahrt innerhalb weniger Minuten zu entleeren und wieder zu füllen, wäre auch die Hebeschraube entbehrlich. Des Fortschiebens bedarf der schlanke Ballon ebensowenig als der Adler und der Albatros der Ruderbewegung seiner Flügel.

Soll doch, wie man sich erzählt, die erste Lokomotive in möglichst knappem Anschluß an den Pferdefuß mit am festen Boden einsetzenden Schubstangen statt mit Triebrädern gearbeitet haben, so mag auch das erste hinlänglich große Luftschiff, dem Wasserdampfer nachgebildet, seine ersten Probefahrten mit der kraftvergeudenden und in der Schnelligkeit begrenzten Triebschraube ausgeführt werden. Wie man damals meinte, ein glattes Rad könne an der glatten Schiene nicht den erforderlichen Halt finden, um bei großer Geschwindigkeit bedeutende Zuglast zu überwinden, wagt man sich auch jetzt noch nicht daran, die noch unerprobte Gleitfähigkeit auf schwach gesenkter Luftbahn auszunützen, aber noch viel rascher als man mit dem Adhäsionsrad nach und nach bis zur Berglokomotive gelangt ist, werden es schon die ersten Versuche mit Graf Zeppelins gewaltigem Flieger ergeben, daß bei rascher Verminderung des Ballonauftriebs auf gesenkter Bahn die Triebschrauben entlastet werden und nur knapp so große Geschwindigkeit annehmen können, um nicht als Hemmschuh zu wirken.

Aber auch noch bevor man sich zu so grundlegender Umgestaltung des dermaligen Gedankens entschließt, dürften kleine Abänderungen dessen, was jetzt geplant zu sein scheint, besseren Erfolg versprechen. Die Triebschrauben zu beiden Seiten neben den Ballon zu verlegen, statt alle vier Schrauben hintereinander u n t e r dem Ballon anzubringen, schließt auf alle Fälle eine Gefährdung der Stabilität in sich. Das Aufwärtssteigen der Flugbahn, welches dadurch erzeugt werden müßte, daß der Antrieb an einem tieferen Punkte wirkt als der Widerstand, kann zunächst zur Erleichterung des Aufstieges benützt werden, ließe sich aber ebensogut durch die

Vorrückung des Schwerpunktes der Gondeln samt Schrauben vor jenen des Ballonkörpers ausgleichen. Wenn dies nur zur Hälfte geschieht, würde man den Vorteil erreichen, während der Bewegung der Triebschrauben soweit zu steigen, um die hierauf erfolgende Senkung der Flugbahn ohne Aufwand mechanischer Arbeit zurückzulegen. Bei der großen Länge des Ballons würde der Anbringung der vier Schrauben in einer Linie nichts im Wege stehen, ja schon etwas mehr als die Länge einer der beiden Gondeln würde genügen, um vor und hinter jeder Gondel eine Schraube laufen zu lassen, ohne daß die eine unter den von den andern hervorgerufenen Luftwirbelungen zu leiden hätte. Dies würde noch den weiteren Vorteil gewähren, daß eine kleine seitliche Wendung der Gondeln im entgegengesetzten Sinne ein besonderes Segelsteuer entbehrlich machte. Ueberdies würde bei dieser Anordnung der Bruch eines Schraubenflügels weit weniger Störung verursachen, weil dann die drei anderen Schrauben unverändert fortarbeiten könnten, während bei der paarweisen Anordnung im Falle der Beschädigung der einen auch die gegenüberliegende Schraube außer Tätigkeit gesetzt werden müßte. Auch die wesentliche Vereinfachung der Verbindung der Schraubenwellen mit den Motoren wäre ein nicht zu verachtender Gewinn.

Ob wohl das Aluminiumgerippe die nötige Festigkeit besitzen mag, um den von erfahrenen Luftschiffern geschilderten, oft so gewaltig und unvermittelt eintretenden Wirbelstürmen zu widerstehen? Nach dieser Richtung ist jede summarische Beurteilung untunlich; da heißt es nur unermüdlich und gewissenhaft rechnen, rechnen und wieder rechnen. — Das dürfte geschehen sein. Die ganze Unternehmung erweckt in so hohem Maße den Eindruck fachmännisch ernster und gründlicher Behandlung der Aufgabe, daß bei allen Einzelheiten, die eine Anlehnung an schon durchgeführte Lösung ähnlicher Aufgaben gestatten, wohl kein großer Mißgriff unterlaufen sein dürfte. Jeder erfahrene Brückenbau-Ingenieur mußte dieser Aufgabe gewachsen sein. Ist aber in diesem Sinne zuverlässig vorgegangen worden, dann läßt sich auch mit aller Bestimmtheit behaupten, daß mit der Verlegung der Antriebsschrauben vor und hinter die Gondeln nicht unwesentliche Gewichtsersparnis verbunden

wäre. Nur die Anbringung der Schrauben zu beiden Seiten des Ballons bedingt die in der Beschreibung erwähnte Versteifung zwischen dem Ballon und den Gondeln. Diese starre Verbindung aber vergrößert in so hohem Maße die Gefahr der Beschädigung durch ungleichmäßig anprallenden Wind, daß die Vorbeugung gegen diese Schädlichkeit viel Material verschlungen haben muß. Die erste Bedingung, um auch in diesem Sinne sparsam vorgehen zu können, wäre die möglichst lose Verbindung der Gondeln und Triebschrauben mit dem Ballonkörper. Wenn trotz der riesigen Länge von 125 m, die für mehr als nur eine gewaltige Luftwelle Raum bietet, Vorsorge getroffen ist, daß nichts verbogen oder zertrümmert wird, wenn die eine Gondel nach rechts, die andere nach links gedrückt wird, muß der Gesamtkörper einen Grad der Steifigkeit erhalten, der nur mit ganz beträchtlichem Materialaufwand erzielt worden sein kann. Fast möchte man den Eindruck gewinnen, daß eine Verdopplung der Stärke der Motoren kein größeres Gewicht in Anspruch nehmen könnte, als diese lediglich dem Zwecke der Verlegung der Antriebsschrauben an den Ballonkörper dienende Versteifung erfordert haben muß. Wenn nicht vielleicht die unfachmännische Art der Beschreibung unbeabsichtigt einen nicht zutreffenden Eindruck hervorgerufen hat, müßten es sehr verborgen liegende Beweggründe sein, welche zu dieser Anordnung geführt haben.

Bei einer Gondel mit einer an aufrechter Welle laufenden Hebeschraube wären auch alle diese Nebenbedenken mit einmal beseitigt.

Um das Luftschiff für seinen Zweck, das rasche Durchschneiden der Lüfte, noch geeigneter zu gestalten, könnten in der wagrechten Mittelebene des Ballonkörpers, zu beiden Seiten über die ganze Länge ausgedehnt, wenn auch nur 2 bis 3 m ausragende Segelflächen angebracht werden. Nebst einem nur wenig vorspringenden Kiel würde dies mit verhältnismäßig geringem Materialaufwand zur Versteifung des Ballons gegen Abbrechen wesentlich beitragen und die Segelgestalt dem Erreichbaren erheblich näher bringen.

Ein an zwei Punkten des Kiels, beiläufig je 30 m vor und hinter der Mitte befestigtes Seil sollte die möglichst langgestreckte Gondel tragen. Hier hätte das Seil unter zwei vorne und hinten

angebrachten Leitrollen und überdies nach Art der Kette am Kettenschiff, statt der Kettengliederzähne mehrfach umwunden, um eine nach beliebiger Drehung feststellbare Rolle zu laufen, mittels welcher ohne besonderes Laufgewicht die Schrägstellung des Ballons nach Bedarf geregelt werden kann. Statt der Steuersegel eine ganz kleine, an nach rechts und links drehbarer wagrechten Axe laufende Schraube, im Verhältnis zur Hebeschraube nicht größer als etwa das Steuerruder eines Schiffes zu dessen Segeln, würde die Manövrirfähigkeit noch wesentlich unterstützen.

Das Ideal eines Seglers wäre das noch nicht. Major Weiße, den ich diesbezüglich gerne meinen Lehrmeister nenne, hat mit den S. 5 schon erwähnten Modellen „Huhn“ und „Albatros“ über diese Seite des Flugproblems untrüglichen Aufschluß gegeben. Um, was uns die atmosfärische Luft mit ihrem 1,3 $\frac{kg}{m^3}$ an Stützpunkt für die Fortbewegung bietet, voll und ganz auszunützen, müßten die Segel nicht nach der Länge des tragenden zilindrischen Flugkörpers angebracht, sondern wie bei Herring überquer ausgespreizt sein. Das aber ist bei so großen Abmessungen ebenso unerreichbar als das Fliegen ohne Ballon, und zwar wegen zweier verschiedenen Hindernisse.

Um bei kräftigem Auftrieb des Ballons verhältnismäßig wenig Luftwiderstand zu finden, müssen die Abmessungen groß gehalten werden. Dieser Satz wird jetzt endlich nicht mehr bestritten und findet in Graf Zeppelins Ausführung die lebendigste Verkörperung. Bezüglich der Herstellung von Segelflächen ist das Gegenteil der Fall. Um zwischen der Flächenausdehnung der Segel und deren Eigengewicht ein günstiges Verhältnis herzustellen, muß in möglichst kleinen Abmessungen gearbeitet werden. Denkt man sich einen in der Länge 2 m messenden Kieferholzstab mit quadratischem Querschnitt von 1 cm Breite und Höhe in wagrechter Lage nur an einem Ende festgehalten, so wird sich der Stab vermöge seines eigenen Gewichtes von 0,1 kg am freien Ende um $^1/_{20}$ seiner Länge, d. i. um 10 cm herabbiegen. Wenn ein Balken aus demselben Holz und mit gleichfalls quadratischem Querschnitt von zehnfacher Länge, also 20 m lang, in dieselbe Lage gebracht, sich vermöge seines Eigengewichtes am freien Ende ebenfalls nur um $^1/_{20}$ seiner Länge, d. i.

um 1 m niederbiegen soll, muß die Quadratseite des Querschnitts nicht das Zehnfache der des Stabes, also 10 cm, sondern 32 cm betragen. Das Gewicht dieses Balkens wird dann nicht, wie es bei ähnlicher, linear 10fach vergrößerter Gestalt der Fall wäre, auf das 1000fache, also auf 100 kg, sondern auf das 10000fache, d. i. 1000 kg steigen. Das heißt, wenn derselbe Grad der Steife gegen Biegung verlangt wird, wächst das Gewicht nicht mit der dritten, sondern mit der vierten Potenz der Länge.

Freilich arbeitet der Konstrukteur, wo es auf Widerstand gegen Biegung ankommt, nicht mit quadratischen Querschnitten, sondern weiß sich durch die Formgebung, durch statt auf Biegung auf Zug und Druck in Anspruch genommene Dreiecksverbindungen zu helfen, aber niemals wird es zu umgehen sein, daß wo, wie bei einem frei ausragenden Segel, der Gesamtkörper doch auf Biegung in Anspruch genommen ist, die Vergrößerung der Ausführung hoch überragende Gewichtszunahme mit sich bringt. Hier sind also dem lenkbaren Luftschiff, wenn es die Trag- und Beförderungsfähigkeit der Luft voll ausnützen sollte, in der Vergrößerung ebenso unübersteigliche Grenzen gezogen als den aviatischen Fliegern.

Dies ist der eine Grund, warum die quer gelegten Segelflächen untunlich sind. Der zweite Grund liegt in der Gefahr, durch ungleich anprallenden Wind umgeworfen zu werden, und dieser Gefahr läßt sich unabänderlich nur dadurch vorbeugen, daß der Flugkörper nebst der nach unten wirkenden Belastung durch die Gondel überdies dem auf Drehung um die wagrechte Axe wirkenden Winddruck möglichst wenig Angriff gewährt, das heißt von der zilindrischen Form nur wenig abweicht.

Gegenüber dem Durchmesser des Zilinders von 12 m wird es sich also auch aus diesem Grunde empfehlen, die Segelflächen nicht über 2 bis höchstens 3 m ausragen zu lassen.

Dieser mit Rücksicht auf Gewicht und Stabilität voraussichtlich noch zulässige kleine Zuwachs an wagrechter Fläche des Ballons ohne Vergrößerung des den Stirnwiderstand ergebenden Querschnitts wird, wenn nur entsprechend ausgenützt, nichtsdestoweniger genügen, den Winkel der Gleitbahn gegen die Wagrechte erheblich zu verkleinern. Das ist von großer Wesenheit für die Fortbewegung.

Nicht nur wird durch das möglichst flache Segeln der Weg abgekürzt, sondern es wird an der nur zur Hebung erforderlichen mechanischen Arbeit in dem Maße gespart, als mittels der gleichen Hebung ein längeres Stück wagrechten Weges zurückgelegt wird.

Dem schier unbegreiflichen Minimum von Aufwand an mechanischer Arbeit, mit dem augenscheinlich die lebenden Segler das Auslangen finden, wird eben wegen des Mangels an weit ausgespreizten Segelflächen das Flugschiff niemals nahekommen können. Das ist aber auch nicht nötig, weil der große Ballon die Ausübung von im Vergleiche zu der zu befördernden Last weit größerer mechanischen Arbeit ermöglicht.

Der ursprüngliche Wahlspruch der Aviatiker: „plus lourd que l'air“, schwerer als die Luft! war nicht verfehlt. Nur ein Körper, dessen auch in der Luft zum Ausdruck gelangendes Eigengewicht ihn vorwärts bringt, wird rasch fliegen können. Das spezifische Gewicht des gesamten Flugkörpers muß also größer sein als 0,0013, nur darf es nicht, wie die Aviatiker meinten, das Gewicht der Luft um nahezu das Tausendfache übersteigen. Weil ein Mittelding nur durch die Anwendung eines Ballons hergestellt werden kann, und weil nur ein großer Ballon verhältnismäßig kleinen Luftwiderstand erzeugt, muß das Fahrzeug in möglichst großen Abmessungen gehalten werden. Aber alles das hindert nicht, daß innerhalb der zulässigen Grenzen jenes Luftschiff die größte Schnelligkeit erreichen und das zuverlässigste Manövrieren gestatten wird, bei dem den Grundprinzipien des Vogelflugs bestmöglichst entsprochen ist. Soweit Segelfläche beschafft werden kann, ohne die eine oder andere Unmöglichkeit im Gefolge zu haben, soll deren Verwendung nicht unterlassen werden.

Für einen waghalsigen Luftschiffer wären — jedenfalls nur an einem viel kleinerem als Graf Zeppelins Ballon — die schon erwähnten Herring'schen Segelflächen vielleicht nicht so übel anzuwenden, wenn, die Hebeschraube zwischen Gondel und Ballon verlegt, die eine Segelfläche quer hinausragend oberhalb und die andere unterhalb des zilindrischen Ballons angebracht würde. Durch gegenseitige Verspreizung mit gegen die Flugrichtung scharfkantigen aufrechten Streben und diagonal gespannten Drähten könnte bei

verhältnismäßig wenig Gewicht beträchtliche Steifigkeit erzielt werden, die Schrägstellung der Segelflächen würde durch die Neigung des ganzen Ballons bewirkt, wenn die Hebeschraube in Tätigkeit ist, vorne aufwärts, und wenn sie ruht, vorne abwärts. Die Gefahr, von Wirbelstürmen umgeworfen zu werden, wäre groß, aber doch soll die Möglichkeit, auf diesem Wege zum Ziele zu gelangen, nicht gänzlich abgesprochen werden. Wenn, was ein Anderer ersonnen hat, nur halbwegs brauchbar erscheint, soll es nicht voreilig verurteilt werden. Mit Ausnahme des Stückchens perpetuum mobile, das allen Aviatikern anhaftet, hat Herring entschieden scharf gedacht. Vielleicht wird sich schließlich auch bei dem armen, von Boltzmann und Anderen so unverantwortlich irregeführten Kreß noch etwas Nachahmenswertes herausfinden lassen. Die Priorität des halbrichtigen Gedankens, auf dem die Engländer und Amerikaner Maxim, Langley und Herring falsch weitergebaut haben, scheint in der Tat dem Deutschen Kreß zu gebüren. Der wackere Schwabe Graf Zeppelin steht heute obenan — das soll festgehalten werden, auch wenn des Schicksals Tücke sein Unternehmen noch irgendwie durchkreuzen sollte.

Auch für den Zeppelin'schen Riesenkörper ist es möglich, wenn auch nicht in der äußeren Gestalt, aber doch im Wesen zu verwerten, was Weiße und Herring gelehrt haben. Man braucht nur die eben erwähnte den Ballonkörper in der Mittelebene umspannende Segelfläche nicht mit einem ungeteilten Segeltuch zu bekleiden, so sind auch innerhalb der im Verhältnis zum Ballon verschwindend kleinen Ausragung von höchstens 3 m tadellose Segelflächen herzustellen.

Man denke sich an dem die Zeppelin'schen 16 kreisrunden Rippen in der wagrechten Halbirungsebene des Ballonkörpers verbindenden Rahmen im gegenseitigen Abstand von etwa 75 bis 100 cm, wagrecht hinausragend, nach außen verjüngt, ganz dünnwandige Metallröhrchen oder vielleicht noch besser etwa 3 m lange Bambusstäbe befestigt und zwischen je zwei derselben in der gleichen Ebene senkrecht auf die Stäbe, also parallel mit der Ballonaxe 8 bis 10 schwache Regenschirmspangen angebracht. An der Rückseite des einen Stabes sind dieselben, auf- und abwärts beweglich, auch

nicht anders befestigt als die Spangen am Schirmstock. Das frei nach hinten bis fast zum nächsten Bambusrohr reichende Ende ist mit diesem durch ein etwa 15 cm langes Schnürchen verbunden, das der Spange eine mäßige Schrägstellung sowohl über als unter die Wagrechte gestattet. Wenn die an einem Bambusstabe befestigten Spangen gemeinsam mit einem 75 bis 100 cm breiten, 3 m langen Stück Seidenstoff verbunden werden, besitzt der Ballon nicht ein, sondern 125 bis 160 Paare richtig geformter und regelrecht angebrachter Flügel.

Vor dem Aufstiege werden diese Flügel sich soweit herabsenken, als die Schnürchen es gestatten. In dieser Stellung verbleiben sie auch, wenn die Hebeschraube zu wirken beginnt; sobald aber das Aufsteigen eine gewisse Geschwindigkeit erreicht, werden durch den von oben wirkenden Luftdruck vermöge der elastischen Biegsamkeit der Regenschirmspangen die Flügelflächen nach unten mäßig gebläht werden. Wenn nach erreichter geeigneter Höhe die Hebeschraube außer Tätigkeit gesetzt und dadurch das Sinken des Ballons eingeleitet wird, werden die Flügelflächen die entgegengesetzte Lage und weit kräftigere Blähung erfahren, der von unten andringende Winddruck wird die Segelfläche auf ganz kurzem, richtig gekrümmten Wege bestreichen und die Luft wird hinter jedem einzelnen der 250 bis 300 Flügel an einer Stelle austreten, wo sie die Wirkung seines Nachbars nicht mehr behindern kann. Auf diese Weise werden etwa 750 m² Segelfläche so voll ausgenützt, als es nur irgend denkbar ist. Die senkrechte Komponente des normal auf die Segelfläche wirkenden Winddrucks bewirkt das Schweben, bezw. nur langsame Sinken des Ballons, die wagrechte den Vortrieb. Der Letztere wird auch dann, wenngleich bei richtiger Verteilung von Auftrieb und Uebergewicht weit schwächer, doch noch fortwirken, wenn durch abermalige Ingangsetzung der Hebeschraube das neuerliche Steigen des Ballons eingeleitet wird. Alles das vollzieht sich, ohne daß die Ballonaxe geneigt zu werden braucht. Will man senkrecht steigen, so senkt man den Ballon nach vorne, um senkrecht niederzugehen, nach hinten. Bei noch stärkerer Neigung der Ballonaxe gegen die Wagrechte kann man sogar, wenn auch nur langsam, aber doch ohne Reversirhebel rückwärts segeln

und vor allem auch den raschesten Flug so plötzlich hemmen als nur irgend erwünscht.

Auch ohne jede Verstellungsvorrichtung an den Segelflächen, die deren Eigengewicht um ein Vielfaches vermehren müßte, hat man den Flug des Ballons in der Gewalt, und obenan kann es wohl kaum einem Zweifel unterliegen, daß auf diese Art mit verhältnismäßig geringem Aufwand mechanischer Arbeit eine Fluggeschwindigkeit erzielt wird, die mit der wegen der unerläßlich hohen Schraubensteigung unter allen Umständen ungünstig wirkenden wagrecht gelagerten Schraube nicht erreicht werden könnte.

Nimmt man an, daß die Wirkung der Hebeschraube bis zur Erzeugung eines Auftriebs von 1000 kg gesteigert wird, somit auch bei stillstehender Hebeschraube das Uebergewicht des Ballons nicht mehr betragen darf, weil ihn sonst die Schraube nicht zu heben vermöchte, daß somit der gesamte Druck auf die Flügelflächen das Gewicht von 1000 kg nicht übersteigen könnte, als Regel nicht viel über die Hälfte betragen wird, so hat jeder einzelne Flügel nicht mehr als 2 bis 3 kg zu tragen und es kann demgemäß das Eigengewicht der Flügel in den allerbescheidensten Grenzen gehalten werden.

Wenn auch bei solcher Anordnung das Luftschiff in seiner Gestalt weniger einer Libelle oder gar dem Albatros, sondern eher einem fliegenden Tausendfuß gleicht, darf dies nicht abschrecken, ist doch in ihrem Aeußeren auch die Schnellzugslokomotive einem Nilpferd ähnlicher als einem englischen Renner und kann doch von letzterem nicht überholt werden. Was die Wirkung betrifft, sind die in der Flugrichtung schmalen und sachte gewölbten Flügel des Albatros vorhanden, nur statt zweier Flügel ihrer 300 an der Zahl. Selbst die Aviatiker Herring und Weiße werden keinen Einwand erheben dürfen, weil, was sie vorgearbeitet haben, vollständig verwertet ist

Ob es bei Graf Zeppelins Riesenballon nicht vielleicht auch eine Gewichtsersparnis eintrüge, statt einer einzigen in gerader Linie hintereinander vier Hebeschrauben vom halben Durchmesser anzubringen, läßt sich nicht kurzweg abschätzen. Auch da gibt es kein anderes Mittel, zur Klärung zu gelangen, als unverdrossen scharf

zu rechnen. Dieselbe Druckfläche würden die vier kleinen Schrauben aufweisen, aber um denselben Druck zu erzeugen, müßten sie auf die doppelte Umdrehungsgeschwindigkeit gebracht werden, was leicht einen größeren Materialaufwand für die zuverlässige Lagerung bedingen könnte. Dagegen würde die Zerlegung in vier Objekte größere Sicherheit gegen Unfall gewähren. Auf alle Fälle müssen die Luftschiff-Hebeschrauben, um an Gewicht zu sparen, mit wesentlich vergrößerter Schraubensteigung an der Flügelwurzel hergestellt werden. Aeußerst dünnwandige, hoh'e, in Riesenkugellagern laufende Schraubenwellen dürften zu empfehlen sein.

Ganz ausgeschlossen ist es wohl auch nicht, daß mit der Ballonlänge von 125 m schon über das Ziel geschossen sei. Nur so viel läßt sich mit Bestimmtheit sagen, daß es, die höchste Vollendung in der sonstigen Ausführung vorausgesetzt, eine Länge des Ballons gibt, die das Maximum der Fluggeschwindigkeit zuläßt. Da der Tragkörper, um bei möglichst geringer Flugbehinderung möglichst viel Antriebslast mitschleppen zu können, möglichst g r o ß gehalten werden muß, die Segelflächen in ihrer Ausdehnung ebenfalls dem Ballonkörper entsprechen sollten, deren Eigengewicht sich aber nur dann erträglich gestalten kann, wenn sich alles in k l e i n e n Abmessungen bewegt, müssen sich die aus der einen und der andern Rücksicht entspringenden Abmessungen an irgendeiner Stelle begegnen. Vielleicht liegt diese vorteilhafteste Größe näher an 50 als an 125 m. Um aber über diesen Zweifel Aufschluß zu geben, müßten Dutzende von Annahmen bis in die kleinste Einzelheit durchgerechnet werden. Das kann nicht die Aufgabe einer einzigen Unternehmung sein. Diese Frage wird erst gelöst werden, wenn der Luftschiffbau sich über die ganze zivilisirte Welt verbreitet haben wird.

Heil den Bahnbrechern!

* * *

Warum sollte man nicht aus der Not eine Tugend machen, wenn der Setzer so langsam von der Stelle kommt, daß, ehe der Druck vollendet ist, sich noch immer neues hervordrängt? Ein

großer Gelehrte, der die Welt mit recht vielen schwer verständlichen Büchern beglückte, hat einmal den Ausspruch getan: „Wenn ich etwas nicht recht verstehe, schreibe ich ein Buch darüber“. Das klingt wohl etwas hochnasig, aber doch ist es keine Schande einzugestehen, daß das docendo discimus sich bei Jedem einstellt. Durch das Bestreben, Anderen verständlich zu werden, werden immer auch die eigenen Gedanken geklärt. So möge auch dieser nachträgliche Einschub freundlich entschuldigt werden. Mit nur geringer Abänderung läßt sich dem Erreichbaren noch um ein gutes Stück näher kommen als mit dem vorbeschriebenen fliegenden Tausendfuß. Das eine lose Seil, an dem die langgestreckte Gondel hängt, ist sowohl wegen der möglichsten Vermeidung des schädlichen Luftwiderstandes als der gefährlichen Inanspruchnahme des Ballonkörpers von großer Wesenheit. Daran soll also festgehalten werden. Dieses Seil bedingt den Kiel; diesem aber kann dann auch ohne wesentliche Verstärkung nahezu die ganze Sorge um die Steifigkeit des Ballonkörpers überlassen und auf diesem Kiel sozusagen der ganze Ballon aufgebaut werden.

Man denke sich einen aus Aluminium-Streben und Telefondraht hergestellten, mehr einem Spinnennetz als einem Balken gleichenden Körper von ungefähr ellipsoidischer Form, etwa 50 m lang und 1 m im mittleren Durchmesser. An den beiden Enden dieses Tragkörpers ist das Seil befestigt. Darüber liegt der Ballon, den Kiel vorne und hinten um je 20 m überragend, also im Ganzen 90 m lang, im mittleren Teil 9 bis 10 m im Durchmesser, aber nicht einfach kreisrund, sondern nur die oberen Dreiviertel des Kreises nach unten durch die beiden rechtwinklig aufeinander stehenden Tangenten geschlossen, den Querschnitt des Ballons also von mehr birnförmiger Gestalt, die untere Kante auf dem Kiel aufsitzend und über den Kiel hinaus gegen die beiden Spitzen des Ballons sich in die kegelartigen Enden verflachend. Die Befestigung des Ballons wird sich dann mit sehr geringem Materialaufwand in zuverlässiger Festigkeit herstellen lassen. Für die wie früher beschriebenen, nur statt 3 etwa 6 m langen Bambusstäbe mit den genannten Regenschirmspangen ist dann in dem Kiel der bequemere Stützpunkt gegeben. Die Segelfläche wird dann nicht rechts und

links neben, sondern unter dem Ballon, nicht allzuweit oberhalb der Hebeschraube angebracht sein. Durch diese Anordnung wird trotz der doppelten Ausragung bei unveränderter Breite des einzelnen Flügels die gefahrbringende Gesamtbreite der Segelfläche von 18 auf 13 m verringert. Der Ballon zieht immer nach oben, die Gondel, auch bei voller Tätigkeit der Hebeschraube, da diese doch nur einen verhältnismäßig kleinen Teil des Gondelgewichts zu überwinden vermag, immer nach unten; da dürfte wohl sehr wenig Aluminium vonnöten sein. Alles andere, die langgestreckte, etwas verschiebbare Gondel mit, je nachdem die Rechnung es ergibt, einer oder mehreren an senkrechter Welle laufenden Hebeschrauben und einer kleinen Steuerschraube bleibt unverändert.

Auch das soll natürlich noch nicht des Rätsels endgiltige Lösung bedeuten, aber im Großen und Ganzen dürfte es wohl den Typus bilden, auf dem zuverlässig weiter fortgebaut werden kann. Wenn es Anklang finden sollte, wird das Verdienst doch nicht minder Dem gebüren, der mit dem am Bodensee verankerten gewaltigen Gerüste auch dem weiteren Gedankenflug Ausgangs- und Stützpunkt geboten hat — also nochmals: Heil dem Bahnbrecher!

* * *

Graf Zeppelins Fahrzeug wird auch in seiner heutigen Gestalt und Ausrüstung das Problem der Lenkbarmachung des Luftschiffs gelöst haben. Wenn auch bis zur Grenze des Erreichbaren noch ein weiter Weg zu durchwandern ist, wird doch auch schon dieser erste aus Menschenhand erstandene Riesenvogel recht namhaften Winden zu trotzen vermögen.

Nur ein Bedenken bösartiger Natur bleibt einstweilen noch unbehoben. Wie Graf Zeppelins Fahrzeug sich gegenüber der gefährlichsten aller dem Luftschiffer drohenden Klippen, gegenüber der Landung verhalten wird, steht noch dahin. Die an Pufferfedern angebrachten Rollräder bieten wenig Gewähr.

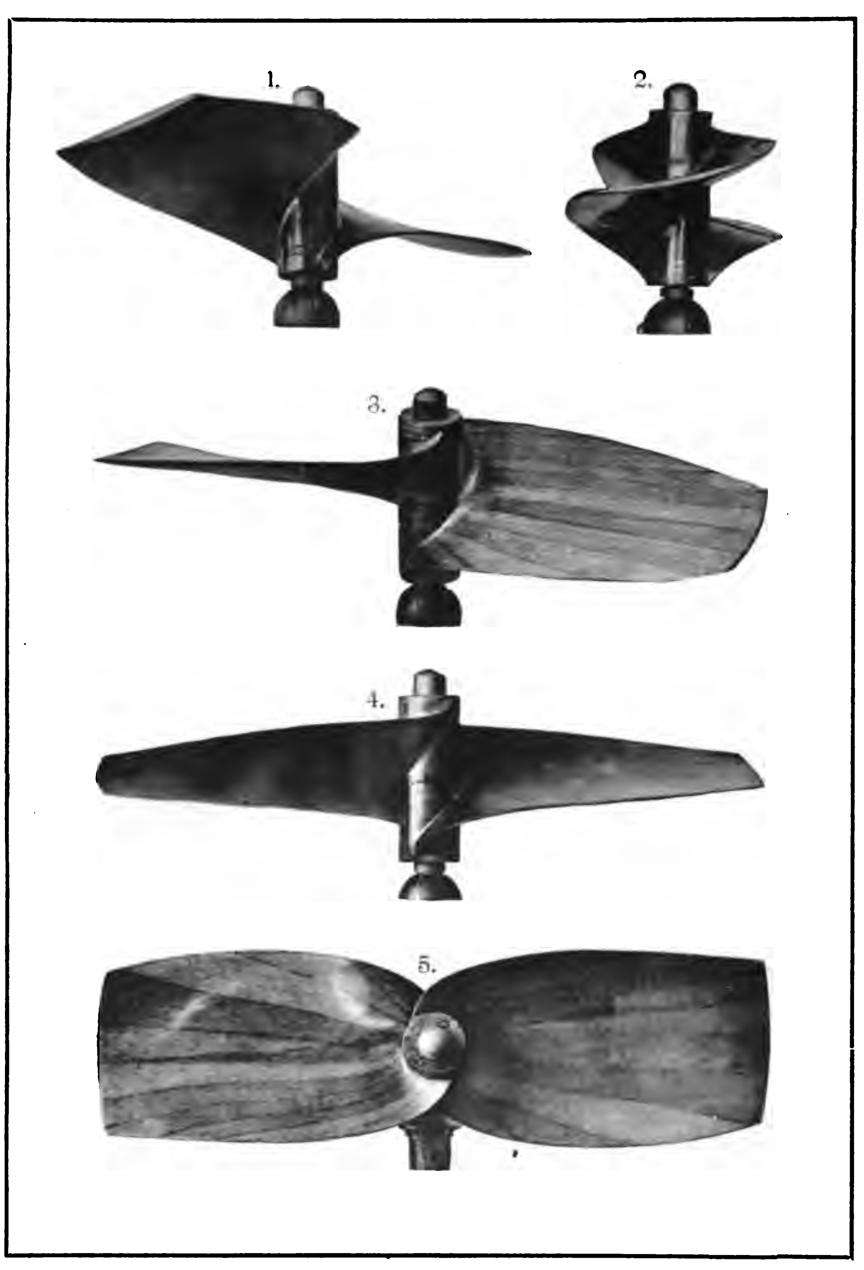
Wer jemals an hellen Wintertagen, wenn der frischgefallene Schnee die scharfe Beobachtung erleichtert, das Landen einer Krähe

aufmerksam verfolgt hat, wie sie in kaum gesenkter Bahn pfeilschnell dahinschießt, in die Nähe des Bodens gelangt, durch rasche Aufwärtssteuerung die wagrechte Bewegung fast plötzlich hemmt und sich dann unter leichtem Flügelschlag sachte zur Erde senkt, kann nicht im Zweifel darüber bleiben, daß obenan für die Sicherheit der Landung die Herrschaft nicht über die wagrechte, sondern über die senkrechte Bewegung des Luftschiffs den Ausschlag gibt.



Die Flüssigkeitsschraube.

Schiffs- und Luftschiffs-Schraube, Kanalschiffs-Luftschraube und Niederdruck-Windrad. Anordnung Pacher.



 Lichtdruck von Würthle & Sohn, Salzburg.

